



**Nuno Ricardo
Mendes Oliveira**

Sistema de monitorização para colmeias

“Whatever the mind of man
can conceive and believe, it
can achieve.”

— Napoleon Hill



**Nuno Ricardo
Mendes Oliveira**

Sistema de monitorização para colmeias

Dissertação de mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, apresentada ao Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, sob orientação do Prof. Doutor Paulo Bacelar Reis Pedreiras

“Whatever the mind of man
can conceive and believe, it
can achieve.”

— Napoleon Hill

o júri

presidente

Professor Doutor Rui Manuel Escadas Ramos Martins

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

vogais

Professor Doutor Paulo Bacelar Reis Pedreiras

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Frederico Miguel do Céu Marques dos Santos

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (arguente externo)

agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador de dissertação Professor Doutor Paulo Pedreiras e co-orientador Professor Doutor Valter Silva por terem facilitado o meu trabalho com o seu apoio constante ao longo desta etapa. À técnica apícola Andrea Casqueira e ao senhor Lino Tavares por, derivado à sua experiência me terem dado explicações importantes acerca da apicultura. Quero também agradecer à minha mãe por ter feito uma revisão linguística à dissertação e por todo o apoio que me deu. Também quero agradecer ao meu pai e irmão por acreditarem sempre em mim e pela motivação que me deram.

Resumo

Nos dias de hoje o mercado apícola é considerado uma fonte de rendimento viável para quem se quer dedicar profissionalmente à prática da apicultura ou simplesmente pretende explorar algumas colmeias para consumo próprio de mel. Este sector tem seguido uma linha de crescimento que se prevê que continue por mais alguns anos visto que o mercado ainda não se encontra saturado.

Por este motivo, tem-se vindo a registar ao longo dos últimos anos, um aumento exponencial do furto de colmeias o que gera prejuízos avultados aos apicultores, colocando em risco a sua continuidade no setor. Os ladrões roubam as colmeias maioritariamente nas épocas do ano em que estas têm quantidades consideráveis de mel, geleia real e pólen, o que maximiza os seus ganhos.

Os apiários encontram-se normalmente em zonas de acesso remoto, locais isolados como no interior de pinhais ou em zonas montanhosas, muitas vezes a dezenas de quilómetros da habitação do apicultor. Por isso, torna-se apetecível ao gatuño efetuar este roubo fácil e rentável.

Surgiu então a necessidade de desenvolver sistemas de segurança que detem o roubo e que avisem o apicultor em tempo útil. Promove-se assim o desincentivo ao roubo.

Existem já no mercado diversos sistemas antirroubo de colmeias que detetam o roubo, fazem *tracking* por “*Global Positioning System*” (*GPS*) e sinalizam o roubo ao apicultor. Contudo, são sistemas dispendiosos, implicam mensalidades avultadas e apenas protegem uma colmeia.

Esta dissertação surge então com o objetivo de desenvolver um sistema que se adegue melhor à realidade económica da apicultura. Para corresponder a essas expetativas, o sistema apresentado teve em conta fatores como o preço, escalabilidade, abrangência, eficiência energética, robustez e minimização da deteção de falsos positivos.

A presente dissertação principia por explicar genericamente em que consiste um apiário, identifica a motivação do roubo e avalia o seu impacto económico, sendo seguida pelo Estado de Arte, que descreve os sistemas já existentes. De seguida é efetuado um levantamento de tecnologias relevantes, escolha de componentes e interfaces de comunicação. No Capítulo seguinte explica-se o funcionamento do sistema desenvolvido. Segue-se a exposição de testes práticos realizados ao sistema, a sua análise crítica e, por fim, as sugestões para um futuro trabalho de melhoramento e as conclusões.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
1.1 Localização e Infraestrutura de um Apiário	1
1.1.1 Localização	1
1.1.2 Infraestrutura	2
1.2 Motivação do roubo e Impacto Económico	3
2 Estado da arte	5
2.1 Sistemas existentes	5
2.1.1 Bee Guard	5
2.1.2 Bee Follower	7
2.1.3 Sistema SARLC	7
2.1.4 Bee Tracker	8
2.1.5 Prosegur system	8
2.1.6 Comparação dos sistemas descritos	9
3 Arquitetura de referência	13
3.1 Soluções Possíveis	13
3.2 Proposta de solução	13
3.3 Escolha do tipo de componentes para a solução	15
4 Levantamento de tecnologia e protocolos relevantes	18
4.1 Protocolos relevantes	18
4.2 “Global System for Mobile Communications” (GSM)	20
4.3 GPS	21
4.3.1 Princípio de funcionamento do GPS	22
4.3.2 Pacotes NMEA	22
5 Especificações	24
5.1 Micro-controladores	24
5.1.1 Módulo central	24
5.1.2 Módulo básico	25

5.2	Módulo GSM	25
5.3	Módulo GPS	26
5.4	Acelerómetro	28
5.5	Módulos RF	28
5.6	Estimativa de preços dos componentes para construção de um futuro protótipo	29
6	Software e Firmware desenvolvido	33
6.1	Tecnologia TDMA adaptada	33
6.1.1	Funcionamento do módulo central	36
6.1.2	Funcionamento do módulo básico	39
6.1.3	Modo de configuração	42
6.1.4	Estrutura dos pacotes TDMA do Master	43
6.1.5	Estrutura dos pacotes TDMA dos Slaves	44
6.1.6	Instalação do sistema	46
7	Testes Experimentais	48
7.1	Acelerómetro	48
7.2	Módulo GPS	52
7.3	Módulo GSM	52
7.4	Módulos Rádio Frequência (RF)	53
7.5	Teste Global	55
8	Conclusão e trabalho futuro	57
9	Bibliografia	59

Lista de Figuras

1.1	Apiário na região do Troviscal.	2
1.2	Colmeia do tipo Langstroth.	2
1.3	Impacto económico	4
2.1	Sistema de monitorização BeeGuard.[8]	6
2.2	Diagrama do sistema.	6
2.3	Sistema de monitorização Bee Follower.[9]	7
2.4	Relação temporal entre a compra do sistema e saldo da dívida	11
2.5	Relação entre custo do sistema e percentagem do apiário salvaguardado . . .	11
2.6	Relação custo benefício na compra do sistema da Prosegur	11
3.1	Soluções comercializadas atualmente.	14
3.2	Proposta de solução.	16
4.1	Tecnologia TDMA	20
4.2	Rede de comunicações GSM,[15].	21
4.3	Triangulação por GPS,[19]	22
4.4	Formato dos Pacotes NMEA,[20]	22
5.1	Módulo OLIMEXINO-NANO-GSM [24]	26
5.2	Módulo MOD-GPS da Olimex [26]	27
5.3	Descrição dos pinos do conector UEXT [27]	27
5.4	Acelerómetro ADXL335 utilizado no sistema [29]	28
5.5	Módulo RF-Link transmissor(em cima) e recetor(em baixo) [30]	29
5.6	Relação custo benefício na compra do sistema apresentado	31
5.7	Percentagem do lucro anual utilizado para pagar a totalidade do sistema . . .	32
6.1	Sequência das comunicações entre o módulo central e os módulos básicos . . .	34
6.2	Janelas temporais abertas pelo módulo central para reporte de eventos dos módulos básicos	34
6.3	Formato de um pacote TDMA	35
6.4	Esquemático de comunicações	35
6.5	Fluxograma do módulo central	37
6.6	Fluxograma do módulo básico	41
6.7	Estrutura dos pacotes enviados pelo Master	43
6.8	Mensagem de sincronização do Master	43
6.9	Estrutura dos pacotes enviados pelo Slave	46

6.10	Quadro típico de uma Colmeia	47
7.1	Tensão em repouso do acelerómetro segundo os seus eixos	49
7.2	Sensibilidade do eixo y	50
7.3	Sensibilidade do eixo z	50
7.4	Variação da tensão no acelerómetro segundo plano ortogonal xx em função da amplitude	50
7.5	Variação da tensão no acelerómetro segundo plano ortogonal a yy em função da amplitude	51
7.6	Variação da tensão no acelerómetro segundo plano ortogonal a zz em função da amplitude	51
7.7	Tempo de comunicação entre cada janela TDMA keepAlive consecutivas . . .	54
7.8	Tempo de comunicação entre cada janela checkTheft consecutiva	54

Lista de Tabelas

1.1	Custo inicial necessário para ter uma colmeia operacional.	3
1.2	Simulação do prejuízo no roubo de N colmeias.	3
2.1	Características técnicas do BeeGuard	6
2.2	Características Técnicas do Bee Follower	7
2.3	Características Técnicas do SARLC	8
2.4	Características Técnicas Bee Tracker	8
2.5	Características Técnicas dos Equipamentos da Prosegur	9
2.6	Comparação dos vários produtos existentes no mercado	10
2.7	Ranking por classificação (1 a 5)	12
4.1	Caraterísticas dos protocolos analisados	19
5.1	Custo total do módulo central	30
5.2	Dimensões dos componentes	30
5.3	Custo total do módulo básico	30
5.4	Tarifário Vodafone Easy 91.	31
6.1	Valores de configuração e discrição dos tipos de comunicação para o módulo Central	38
6.2	Valores de configuração e discrição dos tipos de comunicação para o módulo básico	40
6.3	Argumentos numa mensagem TDMA do Master	44
6.4	Tipo de mensagem e bytes associados a ela	44
6.5	Tipo de resposta e bytes associados	46
7.1	Tempo de aquisição de coordenadas GPS	52
7.2	Tempo de registo na rede e de envio de mensagem	53
7.3	Tempo global médio para deteção de roubo	55

Acrónimos

3GPP “Third Generation Partnership Project”

BSC “Base Station Communication”

BTS “Base Transceiver Station”

CEP Circular Error Probability

CR Carriage Return

DETI Departamento de Eletrônica e Telecomunicações

FDMA “Frequency Division Multiple Access”

GNSS “Global Navigation Satellite System”

GPRS “General Packet Radio Service”

GPS “Global Positioning System”

GSM “Global System for Mobile Communications”

IMEI “International Mobile Equipment Identity”

IMSI “International Mobile Subscriber Identity”

IT Instituto de Telecomunicações

LF Line Feed

MSC “Mobile Switching Centre”

PIN “Personal Identification Number”

RF Rádio Frequência

SIM “Subscriber Identity Module”

SRAM “Static Random Access Memory”

TDMA “Time Division Multiple Access”

UART “Universal Asynchronous Receiver Transmitter”

Capítulo 1

Introdução

De acordo com dados estatísticos [1], nos últimos cinco anos houve um aumento do número efetivo de colmeias, apiários e apicultores em Portugal. Atualmente, Portugal tem uma capacidade produtiva anual de 12000 toneladas de mel, que corresponde a uma faturação de 31 milhões de euros. Segundo uma notícia do jornal Público [1], em 2012, a Federação Nacional de Apicultores tinha registadas em Portugal 600 mil colmeias de 17 mil apicultores.

Derivado ao aumento de interesse nesta atividade, nos últimos anos tem-se vindo a assistir a um aumento de furto de colmeias em apiários. Esta é uma tendência preocupante para os apicultores portugueses. Segundo o jornal Observador [2], desde o início do ano de 2015 e, em apenas 4 meses, só no distrito de Bragança foram reportados 12700€ de prejuízos relativos a furtos de 74 colmeias, o que perfaz um prejuízo médio de 171€ por colmeia. Em algumas situações tornam-se furtos recorrentes que demonstram a impunidade dos ladrões e a impotência dos apicultores para com a situação.

Advindo desta situação, algumas empresas têm vindo a apostar cada vez mais na criação de sistemas que permitam uma monitorização constante das colmeias. Existem diversos sistemas no mercado com diferentes funcionalidades. Alguns, aquando uma intrusão, permitem avisar o apicultor, via GSM, que houve uma tentativa de assalto. Outros tiram fotografias e/ou fazem um *tracking* por geo-localização que pode permitir a recuperação destas. No Capítulo 2 são descritos vários sistemas antirroubos de colmeias que existem atualmente no mercado.

1.1 Localização e Infraestrutura de um Apiário

1.1.1 Localização

Para o apicultor obter sucesso na atividade apícola, são levados em consideração os seguintes fatores: flora apícola, acessos, topografia e proteção contra ventos. A presença de água é fundamental para a manutenção dos enxames e qualidade da produção. O apiário deve estar a uma distância mínima de 400 metros de habitações e mesmo currais, aviários ou pocilgas evitando, assim, situações prejudiciais às pessoas e animais. O apicultor deve também instalar o seu apiário em zonas com sombra, por exemplo, no meio de um pinhal ou instalando uma cobertura artificial. [3]. O terreno deve ser plano e limpo, com pouca vegetação.

A figura 1.1 mostra um apiário com cerca de 40 colmeias localizado no Troviscal, distrito de Aveiro. Este é um exemplo de como são dispostas as colmeias, a área em que estão localizadas e os seus acessos. O terreno é plano, encontra-se limpo, isolado mas com acesso rodoviário



Figura 1.1: Apiário na região do Troviscal.



Figura 1.2: Colmeia do tipo Langstroth.

em qualquer altura do ano e com um riacho a poucas centenas de metros.

Em Portugal a maioria dos apiários encontra-se em locais semelhantes a este. Zonas rurais não habitadas onde qualquer pessoa tem acesso mas que não têm qualquer tipo de vigia. Sendo locais com pouca movimentação, revelam-se assim o local ideal para o furto fácil.

1.1.2 Infraestrutura

Existem vários tipos de colmeias, utilizando-se maioritariamente em Portugal as colmeias do tipo *Langstroth*, figura 1.2, também conhecidas por colmeias Lusitanas. Na tabela 1.1, está listado o investimento que um apicultor tem de efetuar por colmeia. Esta informação foi recolhida em [4].

Componentes	Preço c/iva ¹
Colmeia Langstroth	46.50€
2Kg de cera	24.60€
Enxame com abelha rainha	65.00€
Preço total	136.10€

Tabela 1.1: Custo inicial necessário para ter uma colmeia operacional.

1.2 Motivação do roubo e Impacto Económico

Motivação do roubo Tem-se assistido recentemente a um aumento significativo do número de roubos de colmeias. Segundo alguns apicultores, este aumento justifica-se pela falta de enxames no mercado para venda. Um enxame é facilmente vendido por mais de 50€ no mercado ilícito. Jovens apicultores que fazem projetos financiados pelo Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural são maioritariamente o público alvo. Como a oferta não é suficiente para a crescente procura de enxames no mercado apícola, alguns apicultores recorrem, por isso, à compra de colmeias, mesmo sabendo que por vezes estão a adquirir um bem roubado.

Impacto económico Na tabela 1.2, é mostrada uma simulação do prejuízo que um apicultor tem em média no caso de ter N colmeias e de estas terem sido roubadas quando estão no seu pico de produção anual. Segundo [5], um quilograma de mel custa entre 2.5€ e 5€ e um quilograma de pólen custa entre 5€ e 8€. Para o cálculo desta simulação foi tido em conta o valor médio de venda em Portugal do mel e da cera, que corresponde a 3€ e 6€ respetivamente. Segundo [5] e [6], também foi considerado que em média uma colmeia produz em Portugal 18Kg de mel e 3Kg de pólen. A geleia real não é produzida em Portugal porque não tem viabilidade económica. Para o campo *Compra do Material* foi considerado o investimento básico e mínimo de uma colmeia. O campo *Gastos fixos*, corresponde ao gasto anual médio que o apicultor tem, tendo em conta as deslocações que faz ao local, alimentação das abelhas e acaricidas, segundo um relatório de atividade apícola de um apicultor [7]. O campo *lucro* corresponde aos ganhos líquidos do apicultor, não incluindo o investimento inicial na equação. O campo *Prejuízo* tem em conta o prejuízo global anual do apicultor o qual resulta da perda da colmeia acrescido dos gastos fixos, bem como a perda dos ganhos potenciais.

Número de colmeias	Compra do Material	Gastos fixos	Ganhos com produção de mel	Ganhos com produção de pólen	Lucro	Prejuízo
1	136€	22€	54€	18€	50€	230€
10	1361€	220€	540€	180€	500€	2300€
50	6805€	1100€	2700€	900€	2500€	11500€
100	13610€	2200€	5400€	1800€	5000€	23000€
200	27220€	4400€	10800€	3600€	10000€	46000€

Tabela 1.2: Simulação do prejuízo no roubo de N colmeias.

¹Preço praticado pela empresa Macmel

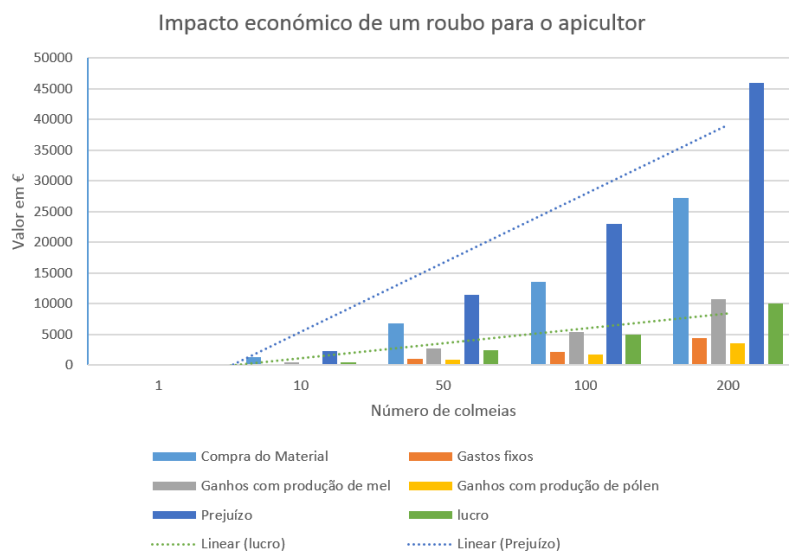


Figura 1.3: Impacto económico

Esta tabela revela o quão grande é o impacto económico que um roubo tem para o apicultor. Independentemente do número de colmeias que o apicultor tenha, em média, para recuperar o investimento inicial, o apicultor necessita de quase três anos e posteriormente mais três anos para "pagar" o segundo investimento. A partir da figura 1.3, é ilustrado graficamente o risco subjacente que cada apicultor tem ao exercer a atividade. As linhas de tendência $Linear(Prejuízo)$ e $Linear(lucro)$ mostram que apesar de o lucro retirado da atividade ser atrativo o impacto económico do roubo é enorme. Por este fator, podemos concluir que o roubo de um apiário pode causar mesmo a cessação permanente da atividade por parte do apicultor devido à falta de capital e ao risco associado de reincidência de furto.

Capítulo 2

Estado da arte

Neste Capítulo são discutidos os sistemas antirroubo existentes, as suas especificações e custos.

2.1 Sistemas existentes

Como o mercado de segurança de apiários ainda é relativamente recente não existem muitos sistemas no mercado. Continua a ser um nicho de mercado por explorar, o que faz com que os preços sejam elevados tendo em conta as suas funcionalidades e tecnologias utilizadas. Os sistemas listados abaixo vão ser analisados individualmente nas secções seguintes:

- Bee Guard.
- Bee iTrack.
- Sistema Anti-roubo e Localizador GPS para colmeias.
- Bee Tracker.
- ESEGUR system.

2.1.1 Bee Guard

O sistema BeeGuard é produzido pela empresa sitConsult¹. O aspeto da unidade de monitorização e a arquitetura global do sistema encontram-se ilustradas na figura 2.1 e 2.2. É um sistema que deteta roubo, fornece alerta via telefone, faz o *tracking* por GPS e envia as coordenadas da colmeia por sms via GSM. Posteriormente, o apicultor tem de se ligar à Internet através de computador, tablet ou telemóvel e abrir uma hiperligação que encaminha para o GoogleMaps [8].

O sistema é instalado diretamente na colmeia e pode ser colocado num quadro, num alimentador ou diretamente na madeira do ninho da colmeia. Na tabela 2.1, são apresentadas as principais características do sistema.

¹Empresa de comunicações móveis sediada em Franca

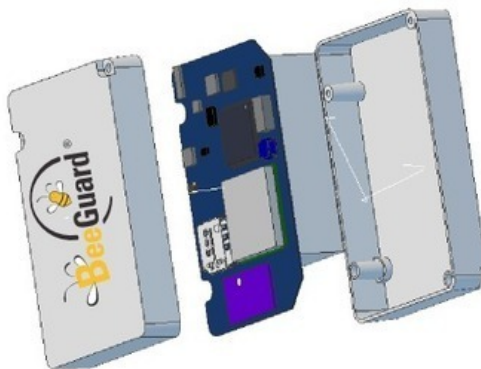


Figura 2.1: Sistema de monitorização BeeGuard.[8]

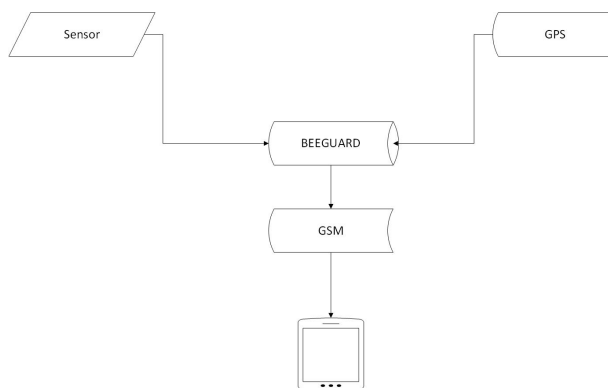


Figura 2.2: Diagrama do sistema.

Características	BeeGuard
Dimensões	72x47x22mm
Vida bateria standby	2 anos
Emissao de radiação em standby	Zero
Tempo de detecção de movimento	Alguns segundos
Activação, desactivação	SMS/Internet
Envio de dados após detecção de movimento	10 em 10 minutos ajustável através da internet
Duração rastreio após roubo	Mais de 48 horas
Tipo Bateria	Pilhas Lítio
Custo activação operadora	7,3€
Despesa mensal com Operadora	3,69€
Preço c/iva	291,51€

Tabela 2.1: Características técnicas do BeeGuard

2.1.2 Bee Follower

Bee Follower é um sistema desenvolvido pela Appisystems 2.3. Faz *tracking* por GPS de uma colmeia furtada e está articulado a uma base de dados de colmeias online com cerca de 3000 colmeias e que permite ao apicultor contactar com outros que tenham o mesmo sistema e reportar o roubo das colmeias em causa.



Figura 2.3: Sistema de monitorização Bee Follower.[9]

As especificações do produto, disponíveis no site da Appisystems [9], indicam que o produto tem autonomia para 5 horas após o roubo e de 30 em 30 segundos envia uma sms ao utilizador com as coordenadas de localização.

Características	Bee Follower
Tipo de bateria	Bateria recarregável solar
Vida bateria standby	Elevada
Emissão de radiação em standby	Zero
Ativação, desativação	SMS
Envio de dados após deteção de movimento	30 em 30 segundos
Duração rastreio após roubo	Aproximadamente 5 horas
Custo ativação operadora	A encargo do cliente
Despesa mensal com Operadora	A encargo do cliente
Preço c/iva	189,60€

Tabela 2.2: Características Técnicas do Bee Follower

2.1.3 Sistema SARLC ²

Dispositivo de *tracking* para colmeias idêntico aos anteriores. É acionado quando há uma movimentação da colmeia, através de um sensor de movimento. O SMS recebido inclui coordenadas, estado de bateria e um endereço para o GoogleMaps que indica a localização da colmeia. Possibilita o envio de mensagens em intervalos definidos e é configurável via SMS para modo de economia de energia ou para operar quando recebe uma chamada telefónica do proprietário. Na tabela 2.3, estão discriminadas as características técnicas do sistema.

²Sistema Anti-roubo e Localizador GPS para colmeias

Características	SARLC
Dimensões	137x63x11mm
Vida bateria standby	6 meses a 1 ano
Emissão de radiação em standby	Zero
Tempo de deteção de movimento	Não especifica
Ativação, desativação	SMS
Envio de dados após detecção de movimento	Ajustável por chamada
Duração rastreio após roubo	2-6 dias
Tipo Bateria	Pilhas de Lítio
Custo ativação operadora	7,3€
Despesa mensal com Operadora	Aprox 5cents/sms
Preço c/iva	150,00€

Tabela 2.3: Características Técnicas do SARLC

2.1.4 Bee Tracker

Sistema de monitorização remoto de colmeias que deteta o seu roubo e faz o seguimento em tempo real da posição onde se encontra. Monitoriza a temperatura interior da colmeia, a humidade e o som. Comunica com o utilizador via GSM quando o sistema deteta movimento ou quando a temperatura nas colmeias se afasta de um determinado intervalo. As características técnicas estão na tabela 2.4.

Características	Bee Tracker
Vida bateria standby	4 a 8 meses
Emissão de radiação em standby	Zero
Ativação, desativação	SMS
Envio de dados após deteção de movimento	Ajustável por SMS
Tipo Bateria	Pilhas
Custo ativação operadora	A encargo do utilizador
Despesa mensal com Operadora	A encargo do utilizador
Preço c/iva	350,55€

Tabela 2.4: Características Técnicas Bee Tracker

2.1.5 Prosegur system

O sistema de monitorização de colmeias da Prosegur³ disponibiliza dois tipos de sistema distintos. Ambos são constituídos por um comando remoto e uma central. A central corresponde ao processamento do sistema. Esta que regista todos os eventos e que posteriormente os envia para a central de segurança da Prosegur. O comando remoto permite ao utilizador desligar remotamente o alarme.

O primeiro sistema consiste num detetor de vídeo volumétrico, responsável pela deteção de movimento e captação de vídeo. Tem uma sensibilidade de 0,2lux, um ângulo de 110 graus e 2 leds de infravermelhos. Permite a captação de vídeo a uma distância de aproximadamente 10 metros durante o dia e 5 metros durante a noite.

O outro sistema é baseado em contactos magnéticos, contactos estes que são instalados entre a base da colmeia e uma superfície sólida onde esta está apoiada.

³Empresa de segurança e monitorização.

Características	Detetor vídeo volumétrico/contactos magnéticos
Vida bateria	Manutenção a cargo da Prosegur
Envio de dados após deteção de movimento/intrusão	Alerta enviado para a central e para o utilizador
Encargos mensais com a Prosegur	33,21€
Preço c/iva	476,01€/ 392,37€

Tabela 2.5: Características Técnicas dos Equipamentos da Prosegur

2.1.6 Comparação dos sistemas descritos

A tabela 2.6 faz uma comparação de características dos produtos existentes incluindo custos de instalação e operação. Algumas características do Bee Follower e do SARLC não estão especificados porque não se encontram disponíveis nos sites dos produtos.

Impacto que a compra de um sistema antirroubo tem nos encargos anuais do apicultor e no lucro: O gráfico da figura 2.4 mostra o número de anos que o apicultor demora até recuperar o dinheiro investido num sistema antirroubo no caso de apenas ter uma colmeia. Se o apicultor optou por comprar o sistema BeeGuard, o lucro estimado calculado em 1.2 não é suficiente para cobrir as despesas anuais com o sistema. O sistema Bee Follower é o que tem um tempo de recuperação de investimento menor. Entre o quarto e o quinto ano o apicultor já recuperou o dinheiro investido. Com esta análise concluímos que nenhum dos sistemas é viável para monitorização individual.

Como apenas os sistemas da Prosegur salvaguardam o apiário na sua totalidade, os gráficos figura 2.5 apresentam o tempo que o apicultor demora a recuperar o dinheiro investido para os restantes sistemas tendo em consideração a percentagem do apiário que pretende ter protegido. Considera-se que cada sistema apenas protege uma colmeia.

Analisando os gráficos da figura 2.5 é possível concluir que os sistemas de monitorização atuais revelam na generalidade preços pouco atrativos se for tido em conta o tempo necessário de recuperação do investimento e a percentagem do apiário sob monitorização. No caso do sistema *Bee Tracker*, por exemplo uma cobertura de 90 a 100% do apiário implicaria ao apicultor mais de 7 anos de produção apenas para recuperar o investimento inicial no sistema mais os gastos anuais. Já o sistema *SARLC* permite uma proteção de 60% do apiário com recuperação do investimento entre 1 a 2 anos. Cabe ao apicultor decidir a relação custo benefício mais vantajosa para si. Um exemplo seria monitorizar 40% de um apiário com o sistema *Bee Follower* que implicaria entre 1 a 2 anos para recuperar o investimento. Assim, o apicultor não garante a 100% a deteção de eventuais roubos, havendo uma probabilidade não negligenciável de estes não serem detetados. Nestes casos os sistemas não são instalados em colmeias adjacentes, mas sim intercalados.

Características	BeeGuard	Bee Follower	SARLC	Bee Tracker	Prosegur System
Dimensões	72x47x22mm	Não especifica	13,7cm x 6,3cm x 1,1cm	Não especifica	Não especifica
Vida bateria standby	2 anos	Não especifica	6 meses a 1 ano	4-8meses	Não especifica
Emissao de radiação em standby	Zero	Não especifica	Zero	Zero	Não especifica
Tempo de detecção de movimento	Alguns segundos	Não especifica	Não especifica	Não especifica	Não especifica
Ativação, desativação	SMS/Internet	Não especifica	Modo sleep após colocação da bateria	SMS	Manual
Envio de dados após detecao de movimento	10 em 10 minutos ajustável através da internet	Não especifica	Ajustável por chamada	Ajustável por SMS	Imediato
Duração rastreio após roubo	Mais de 48 horas	Não especifica	2-6 dias	Não especifica	-
Tipo Bateria	Pilhas Lítio	Não especifica	Lítio	Pilhas	-
Custo ativação operadora	7,3€	Não especifica	7,3€	Não tem	Não tem
Despesa mensal com Operadora	3,69€	Não especifica	Aprox 5cents/sms	Utilizador escolhe operadora	Não tem
Preço c/iva	291,51€	189,60€	150,00€	350,55€	476,00/392,37€
Custo anual	51,58€	Utilizador escolhe	7,3€ + 0,05€/sms	Utilizador escolhe	324€

Tabela 2.6: Comparação dos vários produtos existentes no mercado

Na figura 2.6 são apresentados 2 gráficos. O primeiro mostra a percentagem de lucro que é utilizada para pagar o sistema e a assinatura anual. O segundo analisa a percentagem de lucro que é utilizada anualmente para pagar a assinatura mensal imposta no contrato feito com a Prosegur após o primeiro ano.

Conclui-se que ambos os sistemas têm um grande impacto na percentagem de lucro anual. Se considerarmos um apiário de média dimensão com 50 colmeias, 30% do lucro no ano da compra do sistema é utilizado para pagar o sistema e respetivos encargos. Após o primeiro ano o apicultor tem de abdicar cerca de 15% do seu lucro anual apenas para pagar encargos.

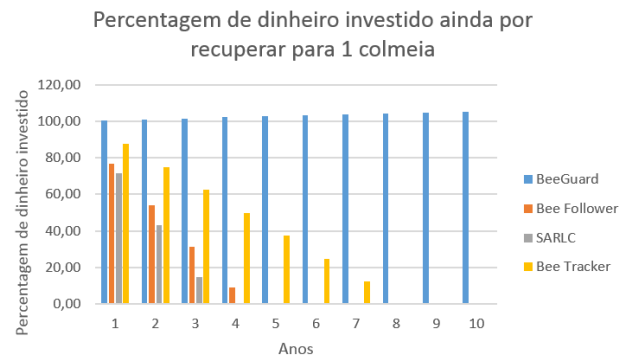


Figura 2.4: Relação temporal entre a compra do sistema e saldo da dívida

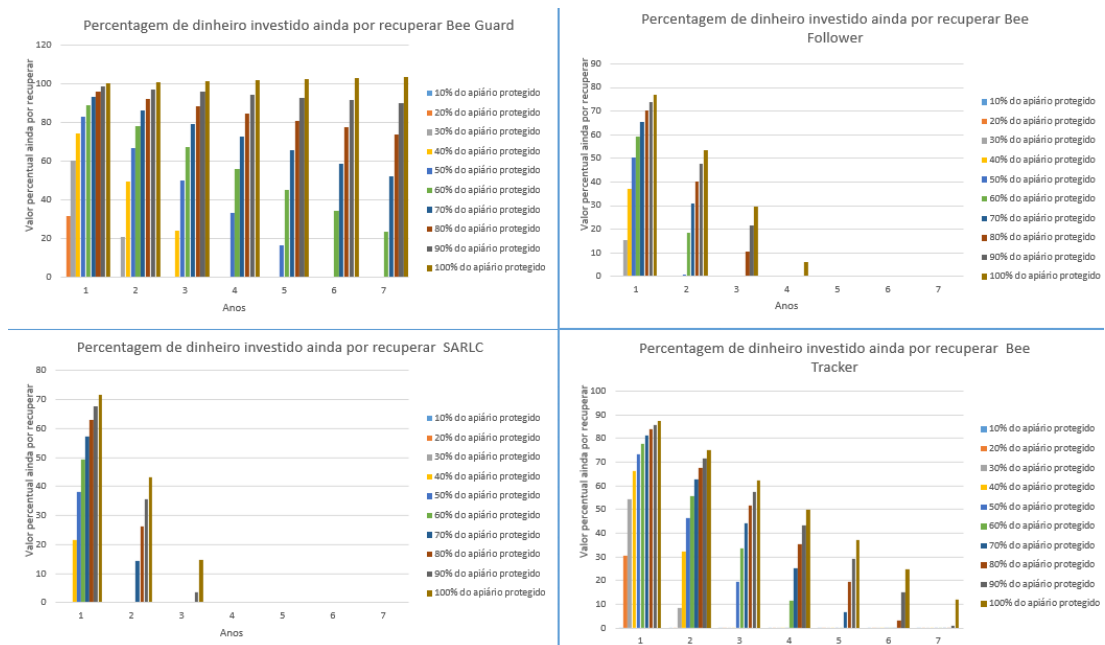


Figura 2.5: Relação entre custo do sistema e percentagem do apiário salvaguardado

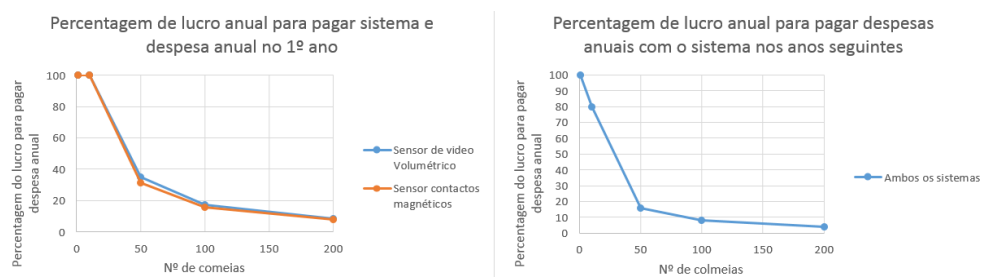


Figura 2.6: Relação custo benefício na compra do sistema da Prosegur

Tendo em consideração os gráficos acima apresentados, pode concluir-se que os sistemas atualmente existentes no mercado não são economicamente viáveis, o que explica a sua baixa aceitação. Esta conclusão motivou o trabalho que se apresenta nesta dissertação.

Tendo em vista avaliar de uma forma objetiva os vários sistemas, na tabela 2.6, são explicitadas em detalhe as suas características mais importantes. Definiu-se também um conjunto de características globais e classificaram-se os vários sistemas numa métrica de 1 a 5 como indicado na tabela 2.7. De acordo com a tabela 2.7, ambos os sistemas da Prosegur são os que têm melhor avaliação mas estão em falta duas classificações do Bee Follower e uma do *Bee Tracker*. O sistema *SARLC* só se superioriza ao sistema Bee Guard no preço. O sistema *Bee Tracker* revela-se também uma escolha interessante pois faz monitorização adicional de temperatura e de humidade. O sistema da Prosegur é o único que tem comunicação com uma central de vigilância 24h por dia o que pode aumentar a rapidez de comunicação com as autoridades. Também é o único que consegue salvaguardar todas as colmeias. Contudo, o preço apresentado em 2.6 no caso do sistema com contactos magnéticos é meramente indicativo. O preço final é ajustado ao número de colmeias e a empresa Prosegur apenas disponibiliza orçamento após visita ao local.

Tabela 2.7: Ranking por classificação (1 a 5)

Características	BeeGuard	Bee Follower	SARLC	Bee Tracker	Prosegur System
Tamanho	4	-	2	-	4
Autonomia	4	-	3	3	3
Preço	1	4	3	2	1
Interação com o utilizador	3	5	3	4	4
Eficácia	2	2	2	2	4
Pontuação Total	14	11	13	11	16

De notar que o preço é um fator preponderante na compra destes sistemas visto que apenas um sistema isolado não garante a segurança de todas as colmeias. Para uma maior segurança preventiva, o ideal seria ter um determinado número de dispositivos tal que a probabilidade de o roubo ser detetado seja o mais elevada possível. O preço atual destes sistemas é muito elevado por ser um nicho de mercado como já foi referido. À medida que produtos semelhantes comecem a entrar no mercado, os preços tenderão a baixar significativamente.

Capítulo 3

Arquitetura de referência

Esta dissertação tem como objetivo encontrar uma solução viável, eficaz, barata e escalável de um sistema de monitorização de colmeias. O sistema deverá ser abrangente, inovador e simples. Por simples entende-se que deverá ser de fácil instalação, configuração e utilização. Deverá também ser personalizável, adaptando-se assim às necessidades de cada apicultor. Depois de encontrada uma solução teórica, é construída uma prova de conceito que mostra a sua exequibilidade.

3.1 Soluções Possíveis

Os sistemas atuais, como foi mostrado no Capítulo 2, consistem num dispositivo singular que tem um módulo central de processamento constituído por um micro-controlador que monitoriza diversos tipos de periféricos; podendo estes ser um detetor vídeo volumétrico, contactos magnéticos, acelerómetros ou sensores de pressão.

A nível de comunicação com o utilizador, o modo mais comum de comunicação é o envio de uma SMS/MMS via GSM/GPRS a sinalizar a tentativa de roubo. A adição de um módulo de GPS permite fazer o *tracking* da localização da colmeia que contém o dispositivo.

Com exceção dos sistemas da Prosegur, todos os sistemas analisados no Capítulo 2, são compostos pelos quatro blocos representados na figura 3.1, sendo um sistema de monitorização único que apenas protege na prática a colmeia na qual o sistema está instalado.

Uma forma de colmatar esta limitação seria o uso de um detetor de vídeo volumétrico, como existe já no sistema de segurança da Prosegur. Mas este detetor tem também as suas limitações, possuindo nomeadamente um alcance de 10 metros durante o dia e 5 metros durante a noite. Além disso, como não é feito o reconhecimento de padrões é de esperar um número elevado de notificações falsas enviadas ao utilizador, o que implica custos desnecessários.

3.2 Proposta de solução

A solução aqui apresentada 3.2 consiste não num dispositivo isolado, mas num sistema modular, integrando subsistemas com diferentes níveis de funcionalidade. Todas as colmeias têm um módulo que processa dados de um sensor para detetar algum tipo de movimentação da colmeia. Através de uma rede de comunicação local, comunica com um módulo central sempre que a sua colmeia seja movimentada. Após este módulo receber uma mensagem de alerta, imediatamente envia uma mensagem de alerta ao utilizador-cliente, informando-o qual

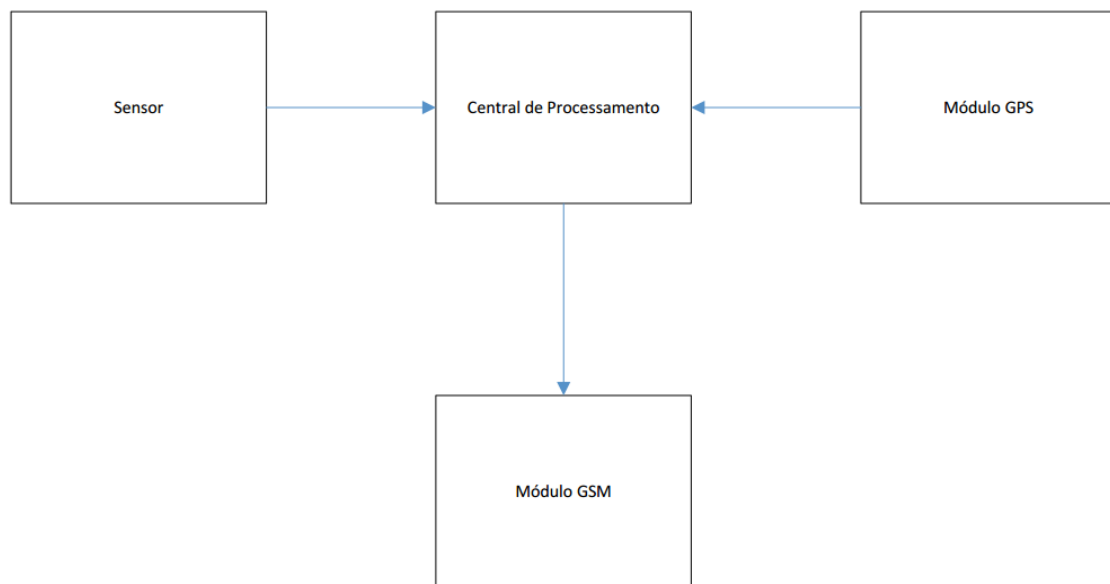


Figura 3.1: Soluções comercializadas atualmente.

ou quais colmeias foram roubadas. O sistema tem ainda um módulo GPS instalado no módulo central que é ativado apenas quando este é roubado.

Com esta arquitetura, pretende-se flexibilizar a relação custo-benefício do sistema. Assim, os módulos básicos apresentam um custo muito baixo, à custa de funcionalidade limitada (apenas notificam alarme por meio de rede sem fios local). Os módulos centrais, consideravelmente mais caros, possuem uma funcionalidade completa (GPS, GSM e acelerómetro para deteção de roubo), além de servirem de *gateway* para os módulos elementares. Assim, a combinação destes tipos de nós permite controlar o grau de deteção e de reporte em função do roubo.

Em seguida são descritos alguns tipos de componentes existentes no mercado para cada um destes blocos:

1 Sensor

[i] Acelerómetro - De todos é o mais versátil. Como é sensível à variação da aceleração gravítica no objeto onde está instalado, por meio de movimentações da colmeia permite facilmente detetar roubo com bastante acuidade.

[ii] Contactos magnéticos- É um sistema bastante simples que consiste num *switch*. Normalmente tem dois contatos laminados em que na ausência de campo magnético as lâminas permanecem afastadas uma da outra e, por isso, o circuito está aberto. Em oposição, o circuito fecha quando as lâminas estão em contacto.

[iii] Sensor de pressão resistivo- A sua resistência varia dependendo da pressão aplicada na área sensível. A pressão é inversamente proporcional à resistência.

[iv] Sensor de inclinação e movimento do tipo relé de mercúrio - Consiste numa cápsula com ampola de vidro com 2 terminais e mercúrio no interior. Quando o mercúrio encosta nos contactos, o circuito é fechado e passa a haver contacto entre os dois terminais.

2 Central de Processamento

[i] Módulo central - Dispositivo que processa informação de periféricos, tem uma frequência de operação ajustável às necessidades que pode variar entre algumas dezenas de KHz até algumas dezenas de MHz. Possui memória do tipo *flash* onde está armazenado o programa a executar e do tipo “*Static Random Access Memory*” (*SRAM*) onde estão armazenadas as variáveis do programa. O dispositivo possui também periféricos de entrada e saída digitais para interface a subsistemas externos, módulo de conversão ADC e vários módulos para comunicação Série/UART. Permite o uso de interrupções internas que desviam o fluxo do programa para uma rotina de interrupção quando ocorrem determinados eventos. Tem um consumo energético reduzido na ordem de miliamperes ou micro amperes em situações de poupança de energia.

3 Unidade de Processamento Básica

[i] Micro-controlador básico - Difere do micro controlador do módulo central por ter um menor número de portas I/O, UART, entre outras. É menos poderoso, mas suficiente para executar todas as tarefas que lhe sejam atribuídas. É mais barato e com ainda menor consumo.

4 Módulo GPS - Permite geo-localização com uma precisão elevada. As maiores diferenças entre os vários módulos existentes no mercado devem-se ao facto de a antena poder ser embutida na PCB, ou ser externa, ativa ou passiva. Uma antena externa adquire mais rapidamente sinal de satélites, sendo que dentro destas as ativas adquirem sinal mais rapidamente mas exigem maior consumo.

5 Módulo de GSM - Permite o envio de SMS. É programado com AT Commands (nome do protocolo de comunicação utilizado para comunicar com módulos GSM) e não obriga à escolha de antenas bastante sensíveis.

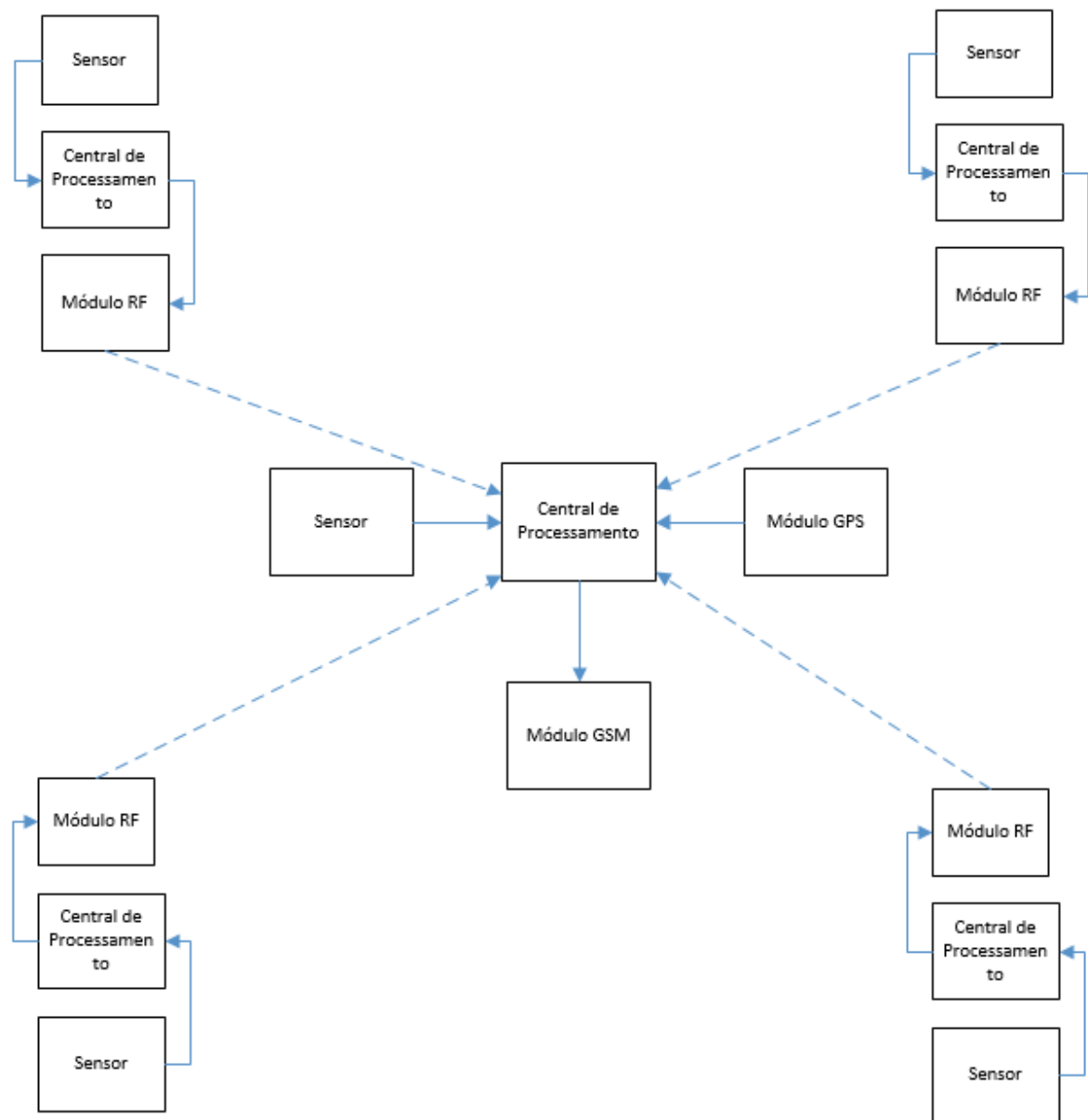
6 Módulos de RF:

[i] *Transceivers* ou Transmissores/Recetores de médio alcance com modulação AM ou FM com comunicação série - São dispositivos que geralmente operam a 315MHz ou 433MHz e têm um alcance de várias centenas de metros, dependendo das características. Os *transceivers* têm um *switch* para comutar entre o estado de transmissão ou receção enquanto que os Transmissores/Receptores são dois módulos independentes.

[ii] *Transceivers* de médio alcance com protocolos já implementados com modulação AM ou FM- Diferem dos acima descritos por já terem uma unidade de processamento antes do envio e após a receção. A configuração da comunicação é feita através de comandos específicos. Não necessita de cuidados a nível de sincronização.

3.3 Escolha do tipo de componentes para a solução

Optou-se por usar acelerómetros como sensores de deteção de roubo por serem componentes que diminuem a probabilidade de deteção de falsos positivos. Apesar de terem uma



Linha a tracejado - Ligação Wireless
 Linha contínua - Ligação física

Figura 3.2: Proposta de solução.

melhor performance, são mais caros que os outros componentes. O facto de ser um dispositivo que já existia no laboratório ao invés dos outros, induziu também à sua escolha. A solução escolhida para comunicar com o utilizador foi o uso do módulo GSM e também se optou pelo uso do GPS visto ser relevante para o utilizador conseguir localizar a colmeia roubada.

Os módulos RF escolhidos têm o transmissor independente do recetor, modulam o sinal a enviar em amplitude e operam a 433Mhz com comunicação série. Foram escolhidos por serem os dispositivos mais baratos no mercado.

No Capítulo 5, é feita uma abordagem detalhada a todos os componentes.

Capítulo 4

Levantamento de tecnologia e protocolos relevantes

Neste Capítulo apresenta-se um levantamento de protocolos e tecnologia relevantes para o desenvolvimento do projeto, abordando comunicação e localização.

4.1 Protocolos relevantes

De acordo com a arquitetura abordada no Capítulo 3, há a considerar 2 tipos de módulos, central e básico, os quais comunicam por uma rede *wireless*. Nesta secção apresenta-se um pequeno resumo de alguns protocolos de comunicação *wireless* relevantes.

1 Random Access Protocols

- [i] S-MAC
- [ii] SCP-MAC
- [iii] WiseMAC

2 Scheduled Protocols

- [i] Crankshaft
- [ii] TDMA

Random Access Protocols: São protocolos em que existe um meio de transmissão que é partilhado por todos os nós em que estes acordam periodicamente e entram em modo de receção. Se o canal está *IDLE* o recetor entra em modo *sleep* outra vez. Se não, tenta receber a mensagem. Todas as mensagens enviadas pelo transmissor são precedidas de um preâmbulo para garantir que a receção é efetuada corretamente. Não existe coordenação para articular transmissões de nós em simultâneo que evitem colisões, contudo desencadeia métodos distintos para garantir que todos os nós conseguem transmitir com sucesso. Os nós que pretendem transmitir escutam primeiro o meio, se não detetam nenhum nó a tentar transmitir, ocupam o canal de transmissão e comunicam com o módulo recetor.

Scheduled Access Protocols: Protocolos de comunicação *scheduled* organizam as comunicações através de uma divisão temporal de acesso ao meio. O objetivo é organizar a comunicação de forma a prevenir colisões e escuta ao meio desnecessária. Podem ser protocolos distribuídos ou centralizados. Os centralizados delegam toda a autoridade num dispositivo central enquanto que os distribuídos partilham essa mesma autoridade.

A tabela abaixo apresenta a performance de cada protocolo de acordo com as características relevantes para o sistema[10]:

Protocolos	Colisões	Overhearing	Performance	Overhead (5 nós)	Eficiência energética	Escalabilidade
S-MAC	Yes	Regular	Regular	Low	Regular	High
SCP-MAC	Yes	Increase with scale	High	Low	Good	High
WiseMAC	Yes	Low	High	Low	Good	Regular
X-MAC	Yes	Regular	High	Low	Good	Best
TDMA	No	High	Low	No	Low	Low

Tabela 4.1: Características dos protocolos analisados

- 1 S-MAC [11]: É um protocolo de acesso ao meio que usa técnicas de redução de energia. Distingue-se dos demais por ter um *sleep* sincronizado em que todos os nós acordam e sinalizam quem quer transmitir e para quem. Os nós que não têm de comunicar nem lhes foi atribuída nenhuma receção aguardam pelo próximo acordar conjunto.
- 2 SCP-MAC [11]: Foi desenvolvido pelos autores do S-MAC e é o mais recente protocolo síncrono de acesso aleatório. Todos os nós acordam periodicamente e simultaneamente e fazem polling ao meio. O candidato a transmissor acede ao meio. Assim é selecionado o candidato a transmitir.
- 3 WiseMAC[12]: É baseado numa técnica que consiste em regularmente escutar o meio e verificar se há atividade. Escuta em intervalos de pequena duração. Todos os nós escutam durante o mesmo tempo, mas não implica que escutem durante o mesmo intervalo de tempo. Se o meio está ocupado, o nó que está à escuta continua à escuta até o meio estar desimpedido. Quando um nó quer aceder ao meio, envia um *wake up preamble* de tamanho pré-definido antes de enviar a sua mensagem. Assim garante-se que o recetor vai estar acordado no intervalo de tempo correspondente ao envio da mensagem.
- 4 X-MAC [11]: Idêntico ao SCP-MAC, contudo, propõe substituir um longo *wake up preamble* por pacotes mais pequenos e de seguida fazer *polling* ao meio. Assim que o destinatário recebe um dos pequenos pacotes de *wake up preamble*, envia um *ready-to-receive* e a mensagem é transmitida imediatamente após isso. Desta forma diminui-se o tempo de *overhearing* dos recetores.

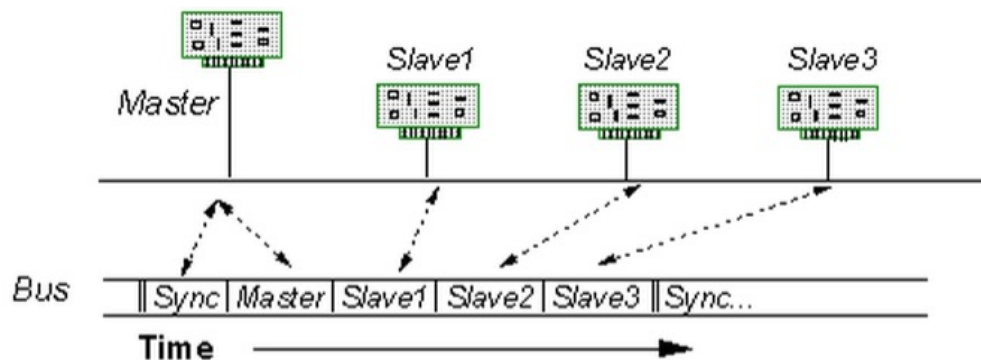


Figura 4.1: Tecnologia TDMA

- 5 “Time Division Multiple Access” (TDMA) [11],[13]: Garante inexistência de colisões e apresenta baixo *overhead*. Consiste na atribuição de *slots* específicas para cada nó. Num sistema centralizado, o *Master* sincroniza todos os *Slaves*. Cada *Slave* tem uma *slot* específica e apenas pode enviar dados na janela atribuída. Num sistema distribuído, cada nó tem uma *slot* atribuída à qual o candidato a transmissor envia um preâmbulo e aguarda o *polling* do nó ao qual a *slot* corresponde. A figura 4.1, ilustra esta tecnologia.

4.2 GSM

GSM é uma tecnologia de padrão aberto desenvolvida pela “Third Generation Partnership Project” (3GPP). Em 2013, telemóveis com tecnologia GSM segundo o artigo [14], foram usados por mais de 1 Bilião de pessoas em mais de 200 países.

Numa rede GSM, o terminal do utilizador chama-se estação móvel; esta é composta por um *chip* “Subscriber Identity Module” (SIM), permitindo assim identificar o utilizador de maneira única. Os terminais são identificados por um número de identificação único de 15 algarismos chamado “International Mobile Equipment Identity” (IMEI). Cada *chip* SIM possui um número de identificação único chamado “International Mobile Subscriber Identity” (IMSI). Este código pode ser protegido com uma palavra passe de quatro algarismos chamada de código “Personal Identification Number” (PIN).

O cartão SIM permite assim identificar cada utilizador, independentemente do terminal utilizado. A figura 4.2 mostra como são feitas as comunicações entre uma “Base Transceiver Station” (BTS) e um “Mobile Switching Centre” (MSC).

O sistema GSM utiliza dois conjuntos de frequências na banda dos 900MHz, o primeiro nos 890-915MHz, utilizado para as transmissões do terminal e o segundo nos 935-960MHz, para as transmissões da rede[16].

O método utilizado pelo GSM para gerir as frequências é uma combinação de duas tecnologias: o TDMA e o “Frequency Division Multiple Access” (FDMA). O FDMA divide os 25 MHz disponíveis de frequência em 124 canais com uma largura de 200 kHz e uma capacidade de transmissão de dados na ordem dos 270 Kbps.

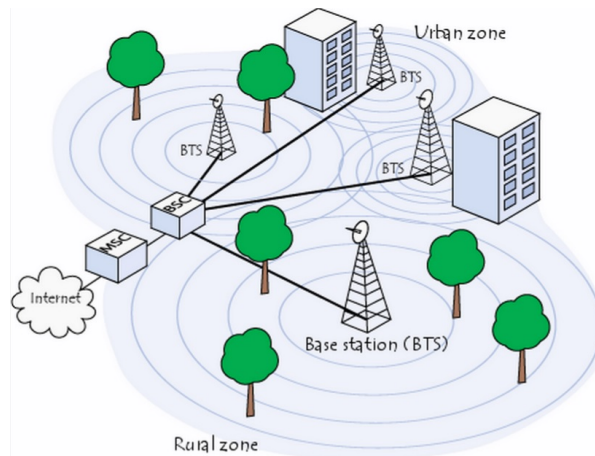


Figura 4.2: Rede de comunicações GSM,[15].

Uma ou mais destas frequências é atribuída a cada estação base e dividida novamente, em termos de tempo, utilizando o TDMA, em oito espaços de tempo (*timeslots*). O terminal utiliza um *timeslot* para receção e outro para emissão. Eles encontram-se separados temporalmente para que o telemóvel não se encontre a receber e transmitir ao mesmo tempo.

Cada terminal pode deslocar-se dinamicamente entre os *timeslots* utilizados para envio, receção e controlo dentro de um *frame* completo. Ao mesmo tempo, verifica outros canais para determinar se o sinal é mais forte e mudar a transmissão para os mesmos, caso a resposta seja afirmativa.

Existem no mercado modems “General Packet Radio Service” (GPRS)/GSM que podem ser facilmente integrados em aplicações embutidas. Estes interligam-se ao micro-controlador por meio de uma interface série e para a configuração dos modems é utilizada uma linguagem de comandos específica denominada *Hayes command set*. Esta consiste num conjunto de comandos que combinados executam uma operação específica como, por exemplo, fazer uma chamada ou ler um SMS da caixa de entrada. Existem variações desta linguagem sendo que a mais utilizada é o Standard AT. Cada comando é constituído por três elementos, O prefixo, o corpo do comando e o carater de fim de comando ou terminação. Um comando básico tem o formato “AT<x><n>” em que os caracteres “AT” são usados no prefixo. <x> corresponde ao corpo do comando e <n> ao argumento desse comando. Em resposta aos comandos, o modem envia a informação requerida ou, em casos de configuração, responde com uma mensagem “OK” no caso do comando ter sido recebido e executado corretamente ou “ERROR” em caso contrário [17].

4.3 GPS

O sistema de localização GPS, derivado do “Global Navigation Satellite System” (GNSS), permite geo-localização com uma precisão de poucos metros até alguns centímetros. Permite uma navegação precisa e é utilizado em diversas áreas, desde navegação em carros e gestão de frotas a gravimetria aérea. A navegação GPS fornece a um aparelho recetor móvel a sua posição e informação horária independentemente das condições atmosféricas. Para isso, o recetor tem de se encontrar no campo de visão de pelo menos três satélites GPS.

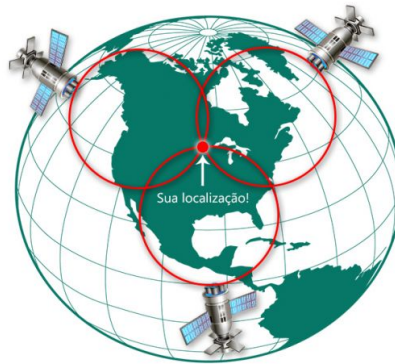


Figura 4.3: Triangulação por GPS,[19]

Preamble	TalkerID	PktType	DataField	*	CHK1	CHK2	CR	LF
----------	----------	---------	-----------	---	------	------	----	----

Figura 4.4: Formato dos Pacotes NMEA,[20]

4.3.1 Princípio de funcionamento do GPS

Explicando de uma forma simples o princípio de funcionamento do GPS, pode admitir-se que se encontra pelo menos um satélite a orbitar à volta da terra com um relógio perfeito e uma transmissão rádio através da qual envia o valor de relógio atual. Considerando uma pessoa localizada na superfície terrestre também equipada com um relógio perfeito e um recetor rádio capaz de decodificar a mensagem, o intervalo de tempo obtido pela subtração do relógio do satélite ao relógio da pessoa corresponde ao tempo que a mensagem demorou a percorrer a distância entre a antena do satélite e a antena do utilizador. A distância entre o utilizador e o satélite pode ser então calculada multiplicando a velocidade da luz pelo intervalo de tempo dos relógios. Sendo enviado na mensagem a localização do satélite, é possível determinar uma circunferência na superfície terrestre onde o utilizador está, tal como ilustrado na figura 4.3. Quando é adquirido um segundo sinal GPS a localização do utilizador fica limitada a 2 pontos, pontos esses que correspondem à intersecção das circunferências delimitadas pelo satélite 1 e 2. Se forem estabelecidas comunicações com 3 satélites, é feita uma triangulação sendo o ponto de intersecção das 3 circunferências a localização do utilizador. Um quarto satélite é necessário para calcular a altitude do utilizador relativamente ao nível médio da água do mar [18].

4.3.2 Pacotes NMEA

Os módulos de GSM utilizam pacotes NMEA com o formato apresentado na figura 4.4.

Cada pacote pode ter até um comprimento máximo de 255 bytes. O *Preamble* contém o carácter "\$", o *TalkerID* consiste numa string de 4 bytes que identifica a comunicação, o *PktType* diz ao decodificador como decodificar o pacote e contém 3 bytes que vai de "000"até "999".

DataField é um campo em que o seu tamanho depende do tipo de pacote. Entre diferentes dados contíguos é utilizada uma vírgula “,” para ajudar o processo de decodificação. O símbolo “*” é utilizado como terminador do campo. *CHK1* e *CHK2* são dois campos usados para a detecção de erros em que cada um tem um byte. Finalmente para sinalizar o fim do pacote são enviados os caracteres *CR* e *LF*.

Capítulo 5

Especificações

O hardware escolhido para a implementação deste sistema foi determinado por um conjunto de vários fatores. O objetivo foi o de obter um desempenho suficiente minimizando custos. Em alguns componentes o critério disponibilidade foi também considerado. Os componentes foram instalados em placa branca à exceção dos micro-controladores que vinham incorporados já numa placa de desenvolvimento e o módulo de GPS que já vinha encapsulado. Para os ensaios de bancada foi utilizada uma fonte de tensão DC pertencente ao Laboratório de Redes 1 do Instituto de Telecomunicações (IT), local onde foram feitos os ensaios.

Seguidamente, são descritos com detalhe todos os componentes escolhidos, o motivo e as suas especificações técnicas:

5.1 Micro-controladores

Foram escolhidos dois tipos de micro-controladores diferentes para este sistema, um para o módulo central e outro para o módulo básico.

5.1.1 Módulo central

1. Baixo consumo - Um baixo consumo energético é essencial para este tipo de sistemas embutidos, que são instalados em zonas remotas e sem acesso à rede elétrica. É imperativo ter um sistema que consuma o mínimo possível, para com isso expandir o tempo de operação ao máximo e reduzir os custos de operação.
2. Preço - Baixo por forma a tornar o sistema economicamente viável.
3. Três módulos “Universal Asynchronous Receiver Transmitter” (UART) - O dispositivo central tem de comunicar com o módulo GSM, com o módulo GPS e com o módulo RF. Os três têm comunicação série.
4. Um módulo ADC com três canais - Necessário para receber do acelerómetro valores de tensão analógicos e, posteriormente, convertê-los para digital.
5. Duas portas digitais configuradas como output com o objetivo de ligar/desligar o módulo RF transmissor e recetor, o acelerómetro e o módulo GPS, com o uso de um mosfet.

Foi escolhido o micro-controlador *PIC32MX795512H* da empresa Microchip [21]. Este microcontrolador preenche todos os pré-requisitos necessários a nível de hardware. A escolha não foi a mais económica. O fator preponderante que motivou esta escolha foi o facto de já existirem no Departamento de Eletrónica e Telecomunicações (DETI) placas de desenvolvimento com este *chip*.

5.1.2 Módulo básico

1. Baixo consumo - Para o *Slave* é ainda mais imperativo ter atenção ao consumo energético, já que o número de dispositivos deste tipo é superior ao dos módulos centrais, logo o seu impacto no custo do sistema é globalmente maior, e as fontes de energia representam uma parte substancial destes custos.
2. Preço - Terá que ser barato pois o número destes dispositivos é maior que o dos módulos centrais, tendo assim grande impacto no custo dos sistemas.
3. Um Módulo UART - O micro-controlador tem de comunicar com o módulo RF, módulo esse igual ao módulo central.
4. Um Módulo ADC com três canais - Necessário para receber do acelerómetro valores de tensão analógicos e posteriormente converter para digital.
5. Três portas digitais configuradas como output com o objetivo de ligar/desligar o módulo RF transmissor, recetor e acelerómetro, com um mosfet.

Escolheu-se a *PIC18F258* [22] fabricada pela Microchip para micro-controlador dos módulos básicos. Os motivos foram o custo reduzido e o estilo de programação idêntico ao da *PIC32MX795512H*. Contudo, a maior motivação da escolha deste controlador integrado, foi assim, como no caso anterior, o facto de estar disponível no DETI.

5.2 Módulo GSM

O módulo de GSM escolhido foi o *OLIMEXINO-NANO-GSM* 5.1. Trata-se de um módulo que permite comunicações GSM, GPRS e Bluetooth 3.0, embora neste projeto apenas se use GSM. Vem com um chip da *SIMCOM*, modelo *SIM800H*. Referindo apenas as características de relevância para esta dissertação, o chip *SIM800H* permite [23]:

1. Envio e receção de mensagens pelas bandas de frequência GSM850, EGSM1800 e PCS1900.
2. Comunicação por porta série, configurável pelo utilizador. Quando é inicializada e estabelecida uma comunicação série, este tem um mecanismo de auto-ajuste de *baudrate* para a frequência do dispositivo com o qual comunica. Permite, igualmente, o ajuste de *baudrate* para valores padrão entre 1200bps e 115200bps.
3. Tem uma *slot* para colocar um cartão SIM. Após a inserção deste, automaticamente procura a rede da operadora do cartão até a encontrar.
4. Aceita valores para tensão de alimentação de 3.4V a 4.4V. Em estado *IDLE* com GSM ativo consome 18,7mA. Quando envia uma SMS requer uma corrente mais elevada, que pode chegar a 2,0A. Este consumo varia bastante consoante a qualidade da antena. O cartão SIM tem um consumo de 1µA quando está a operar.

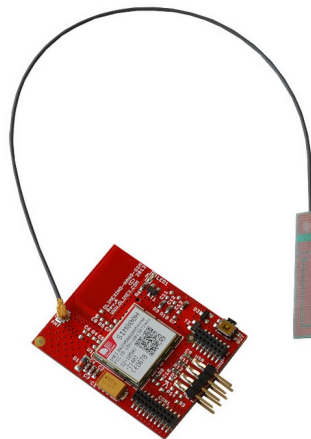


Figura 5.1: Módulo OLIMEXINO-NANO-GSM [24]

-
5. Como explicado na secção 4.2, é programado através de comandos de controlo *AT Commands 3GPP TS 27.007,27.005*.

5.3 Módulo GPS

O módulo GPS escolhido foi o *MOD-GPS* da Olimex, representado na figura 5.2. Este módulo tem uma antena embutida na PCB. A relação-qualidade preço foi a motivação da sua escolha. Tem uma sensibilidade boa e é um módulo de baixo consumo. Tem as seguintes características [25]:

1. O *chipset* é o MT3329 MEDIATEK, tem 20 canais "All-In-View"*tracking* e uma sensibilidade de -159dBm.
2. Tem um consumo de corrente médio em modo de operação na ordem dos 38mA e pode ser alimentado entre 3.3V e 6V.
3. O tempo de aquisição de sinal varia de acordo com o modo em que o sistema é ativado. Tem os modos *Cold*, *Warm* ou *Hot start time*, que em média demoram 42s, 38s e 1s. Tem um tempo de reacquirição de sinal automático de 0.1 segundos em média, que no máximo será 1 segundo.
4. Comunica na frequência L1 1575,42MHz.
5. Tem uma precisão métrica entre cinco e 25 metros, um limite inferior para deteção de velocidade de 0,1m/s e máximo de 543m/s para acelerações inferiores a 4G e indica altitudes até um limite máximo de 18000m.

Este módulo tem um conector UEXT que permite que seja ligado a placas de desenvolvimento da Olimex. O UEXT é um conector que suporta três tipos de comunicação série. São elas o I2C, SPI e RS232. A descrição dos pinos encontra-se na figura 5.3.



Figura 5.2: Módulo MOD-GPS da Olimex [26]

Pin #	Signal Name
1	3.3V
2	GND
3	TXD
4	RXD
5	SCL
6	SDA
7	MISO
8	MOSI
9	SCK
10	SSEL

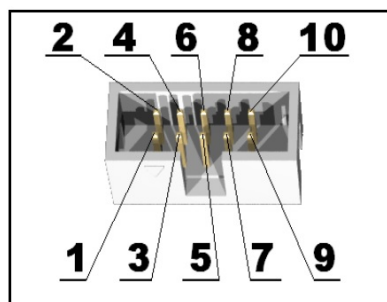


Figura 5.3: Descrição dos pinos do conector UEXT [27]

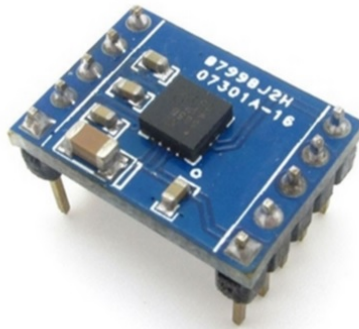


Figura 5.4: Acelerómetro ADXL335 utilizado no sistema [29]

5.4 Acelerómetro

O acelerómetro escolhido foi o *ADXL335*, representado na figura 5.4. É um acelerómetro que mede 3 eixos ortogonais. As suas principais características são[28]:

1. Permite a medição de aceleração estática assim como também permite a medição de aceleração dinâmica, resultante de toque, choque ou vibração.
2. O utilizador pode escolher a largura de banda do acelerómetro colocando um condensador entre cada um dos três eixos e a massa. A largura de banda pode ser seleccionada entre 0.5Hz a 1600Hz para os eixos *X* e *Y* e 0.5Hz a 550Hz para o eixo *Z*, variando assim a rapidez da resposta do acelerómetro a um movimento.
3. Tem um tamanho reduzido, 4mm x 4mm x 1.45 mm enquanto que o módulo completo tem 28mm x 22mm x 3mm.
4. Tem um consumo de corrente na ordem dos 350 μ A e permite tensões de alimentação desde 1.8V até 3.6V.
5. As tensões de saída de cada eixo variam muito pouco com a temperatura. Existe uma variação máxima de 20mV na gama de -40 a 100 graus celsius.
6. O princípio de funcionamento deste acelerómetro é fazer a tensão de saída de cada um dos eixos variar consoante a aceleração a que é sujeito.
7. Tem uma gama de medição de $\pm 3G$.

5.5 Módulos RF

Os módulos RF foram, de todos, a escolha mais difícil dado que o seu custo é, comparativamente ao custo dos outros componentes, elevado, e há uma vasta oferta com preços e

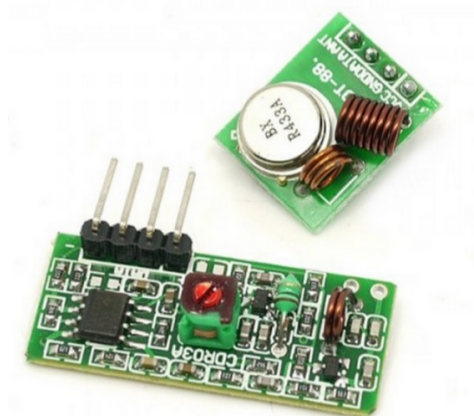


Figura 5.5: Módulo RF-Link transmissor(em cima) e recetor(em baixo) [30]

funcionalidades muito distintas. Por exemplo, há módulos RF "low cost" que custam 5,70€¹, sem qualquer tipo de protocolo e, por outro lado, existem módulos mais caros como o módulo Wi-Fi da LPRS que custa 29,5€². Módulos com menos taxas de erros e que operam com *baudrates* bastante superiores.

A escolha, bastante motivada pelo fator económico, recaiu sobre os Módulos *RF-Link 433Mhz*, figura 5.5.

O módulo RF-Link apresenta as seguintes características técnicas:

1. Possui um módulo transmissor e um módulo recetor.
2. A frequência da onda portadora de sinal é de 433MHz, com modulação ASK.
3. A tensão de alimentação aceita valores entre 3V e 12V, sendo que, quanto maior for a tensão, maior é a potência de transmissão do sinal.
4. A tensão à saída do recetor é 0.7V para o estado lógico "0" e metade da tensão de alimentação para o estado lógico "1".

5.6 Estimativa de preços dos componentes para construção de um futuro protótipo

O objetivo desta dissertação é criar uma prova de conceito de um sistema de monitorização de segurança para colmeias, interligar vários módulos e programar os micro-controladores para processarem a informação e comunicarem entre si e também com o utilizador.

Optou-se por adquirir uma placa de prototipagem de GSM, GPS, acelerómetro e de comunicações RF por falta de tempo, complexidade e fatores económicos. Contudo a seleção de componentes que tornariam este sistema exequível e funcional tendo em atenção o preço e para o caso do módulo central seria o mostrado na tabela 5.1.

¹Preço tabelado da empresa Botnroll

²Preço tabelado na Farnell

Componente	Preço 1/uni	Preço 25/uni	Preço 50/uni	Preço 3000/uni
PIC16LF1526	2.36€	1.70€	1.70€	1.70€
SIM928A	80€	20€	15€	11€
Acelerómetro MMA8653FC	1.27€	1.10€	1.10€	0.43€
Antena GPS MAXTENA MPA-254	5.13€	4.23€	4.23€	3.89€
Antena GSM ANT-PCB4242	4.27€	4.09€	4.09€	4.09€
Módulo RF MRF89XAM8A	6.04€	6.04€	6.04€	6.04€
Energizer 635429	16.01€	13.89€	13.89€	13.89€
Preço total	115.08€	51.05€	46.05€	41.04€

Tabela 5.1: Custo total do módulo central

A tabela 5.2 mostra o tamanho de todos os circuitos integrados a utilizar numa futura prototipagem:

Componente	Dimensão(mm)
PIC16LF1526	10x10
Acelerómetro MMA8653FC	2x2x1
Módulo MRF89XAM8A	17x28
Bateria Energizer 635429	50.5x14.5

Tabela 5.2: Dimensões dos componentes

Apesar de não ter sido desenhada uma PCB para mostrar a dimensão real que ambos os módulos iriam ter, é possível ter uma perceção que o tamanho iria ser idêntico aos já existentes. A tabela 5.2 mostra o custo dos componentes relativos ao módulo básico.

Componente	Preço 1/uni	Preço 25/uni	Preço 50/uni	Preço 3000/uni
PIC16LF1526	2.36€	1.70€	1.70€	1.70€
Acelerómetro MMA8653FC	1.27€	1.10€	1.10€	0.43€
Módulo MRF89XAM8A	6.04€	6.04€	6.04€	6.04€
Bateria Energizer 635429	16.01€	13.89€	13.89€	13.89€
Preço	25,68€	22.73€	22.73€	22.06€

Tabela 5.3: Custo total do módulo básico

Os preços referidos são os praticados pela loja Farnell à exceção do módulo SIM928A que é encomendado através da empresa portuguesa EBV. Estes valores são apenas indicativos, já que o custo do desenvolvimento das PCB's é considerável e também não foi considerada a eletrónica adicional necessária para alimentação do sistema, bem como reguladores e outros componentes.

Supondo que o custo do produto final seria de 60€ para o módulo central e de 35€ para o módulo básico, o gráfico 5.6 mostra a percentagem de lucro para amortização do investimento, incluindo custos de instalação e exploração. Foi considerado que existe um módulo de monitorização por colmeia, que os proveitos do mel são os mostrados na tabela 1.2 e que o tarifário escolhido é o *Vodafone Easy 91* cujas as especificações estão descritas na tabela 5.4,[31]:

SMS's

Para números Vodafone	0 cênt/SMS
Para outras redes	13 cênt/SMS

Tabela 5.4: Tarifário Vodafone Easy 91.

Além disso são cobrados 36 centimos por cada dia de utilização, válido até as 24h do dia em que foi descontado. Caso não seja efetuada uma comunicação ou carregamento por mais de 30 dias, é debitado o valor de 50 centimos por mês.

Foi então calculado um custo máximo anual que é de 6.50€ no caso de o módulo central não enviar nenhuma mensagem nesse ano.

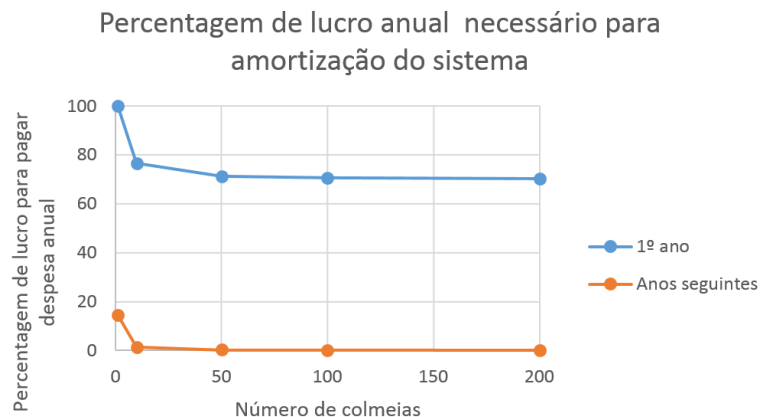


Figura 5.6: Relação custo benefício na compra do sistema apresentado

Pelo gráfico 5.6 é possível concluir que cerca de 80% do lucro do apicultor no ano da compra do sistema irá para amortizar o investimento. Contudo, nos anos seguintes a percentagem de lucro usada para exploração do sistema aproxima-se dos 0%, visto apenas existir um encargo de 6.5€ com o sistema como foi referido na tabela 5.4. Concluimos que este sistema se revela eficaz visto que monitoriza 100% do apiário, contudo, e apesar de ter um impacto significativo

no lucro do ano da compra, revela-se um produto económico a longo prazo, o que o torna bastante atrativo.

Por outro lado, como o sistema é modular e personalizável, tendo em conta um balanço entre o seu orçamento disponível e o nível de monitorização pretendido, é possível ajustar o sistema às necessidades e possibilidades financeiras do apicultor. O gráfico 5.7 mostra a percentagem de lucro utilizada para amortização do investimento do sistema em função da percentagem do apiário monitorizada:

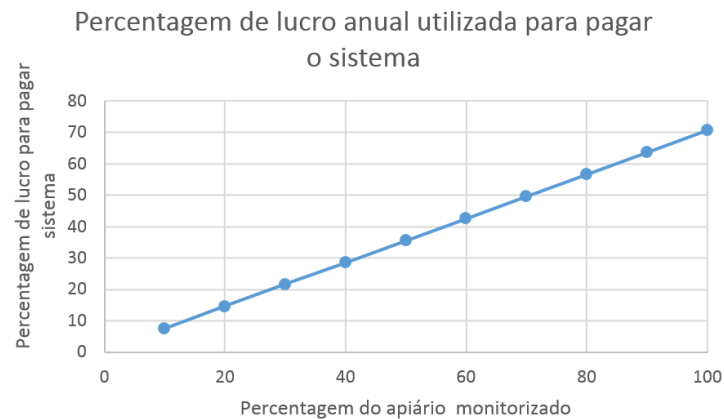


Figura 5.7: Percentagem do lucro anual utilizado para pagar a totalidade do sistema

Ao comparar o impacto económico entre o sistema apresentado nesta dissertação com os já existentes mostrados na secção 2.1.6 do Capítulo 2, podemos concluir que o sistema modular apresentado tem custos globais inferiores a qualquer outro sistema. Ambos os sistemas da Prosegur têm um custo de compra mais reduzido, contudo implicam encargos anuais muito elevados comparativamente ao sistema aqui apresentado.

Capítulo 6

Software e Firmware desenvolvido

O sistema desenvolvido focou-se na diferenciação relativamente a outros sistemas já existentes no mercado. A eficácia, robustez e custo também o tornam um sistema atrativo, com possibilidade, se implementado, de competir com os restantes.

Tal como descrito no Capítulo 3, tem-se um dispositivo central que funciona como o cérebro de todo o sistema. É ele que está encarregue do tráfego de todas as mensagens, que determina a sincronização temporal com os restantes módulos e que interage diretamente com o utilizador via SMS.

Por outro lado, tem-se uma rede de sensores instalados individualmente em cada colmeia que comunicam com o dispositivo central via Wireless sempre que ocorra uma intrusão na sua colmeia ou para informar o seu estado, nomeadamente se está operacional ou o estado da bateria.

Existe um acelerómetro em cada dispositivo devidamente calibrado para detetar intrusões e ao mesmo tempo filtrar ligeiras vibrações devidas, por exemplo, ao vento ou a uma pancada acidental na colmeia.

6.1 Tecnologia TDMA adaptada

A tecnologia TDMA é uma das tecnologias mais usadas pelo mundo inteiro, principalmente por o GSM se basear nela. É uma tecnologia que permite a partilha do mesmo canal de rádio por diversos recetores e transmissores. A finalidade de um sistema TDMA é permitir, a um determinado número de utilizadores, ter acesso a um canal de comunicação wireless numa dada janela temporal. Cada utilizador acede ao canal por apenas uma fração de tempo ao longo de um período e de forma ordenada. O acesso ao canal de forma compartilhada no tempo, implica que a transmissão de dados seja organizada e dividida em *time slots* por utilizador. No presente trabalho desenvolveu-se uma variante do protocolo TDMA, adaptado por forma a conciliar o baixo consumo de energia com a necessidade de obter informações de estado e de reportar eventos.

Dada a existência de 2 tipos de módulos com características distintas, optou-se por uma tecnologia *Master-Slave*, figura 6.4. O *Master* inicia periodicamente (*Tpoll*) um *round* de comunicação, transmitindo para este fim uma mensagem de sincronização(M), como ilustrado na figura 6.1.

Após a receção desta mensagem, todos os *Slaves* devem reportar o seu estado, enviando as mensagens S1...Sn para o *Master*.

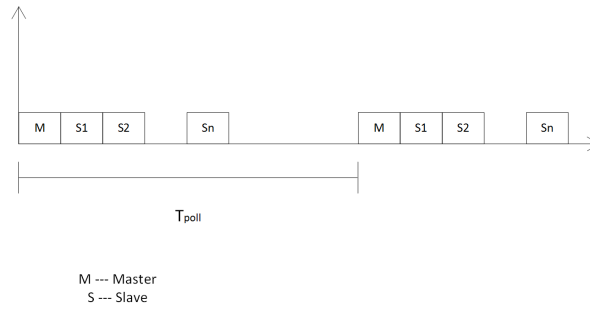


Figura 6.1: Sequência das comunicações entre o módulo central e os módulos básicos

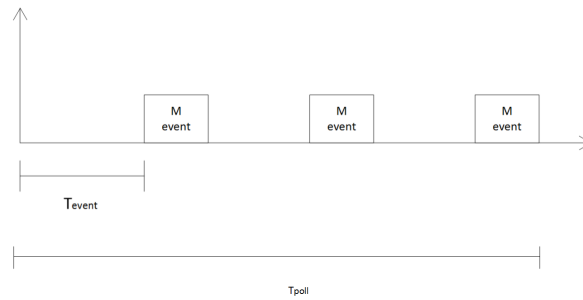


Figura 6.2: Janelas temporais abertas pelo módulo central para reporte de eventos dos módulos básicos

Uma vez que T_{poll} e o número de *Slaves* são conhecidos, os instantes em que há comunicação são previsíveis, permitindo assim que os nós se desliguem sempre que não haja atividade.

Para reduzir a latência na comunicação de eventuais alarmes, dentro de cada *round* o *Master* envia regularmente (T_{event}) mensagens adicionais de *pool* (N_{event}). A estas mensagens respondem apenas *Slaves* que tenham alarmes a reportar.

Assim concilia-se baixo consumo com baixa latência na detecção de eventos. A estrutura da trama a utilizar encontra-se detalhada na figura 6.3.

No campo *Message*, inicialmente é discriminado qual o tipo de informação que irá constar no campo *Data*, por meio do campo "*Message type*", com dois bytes. O campo *ID* é aquele que permite ao recetor saber a origem dos dados, sendo esta composta por dois bytes. O campo *Data* contém a mensagem a transmitir.

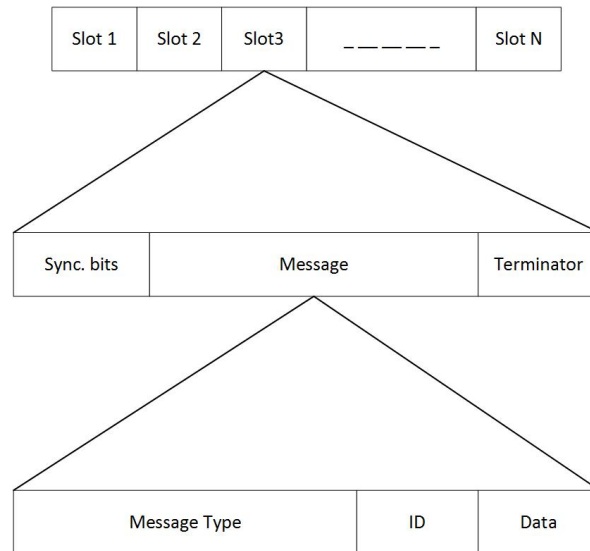


Figura 6.3: Formato de um pacote TDMA



Figura 6.4: Esquemático de comunicações

6.1.1 Funcionamento do módulo central

O módulo central funciona de acordo com o fluxograma da figura 6.5. Inicialmente, todos os componentes periféricos estão desativados. Consoante o estado em que o *Master* está, o módulo transmissor *RF link* é ativo sempre que há necessidade de transmitir informação. Sempre que um dos *Slaves* se encontra a transmitir informação, o módulo transmissor do *Master* é desativado. Como todos os módulos transmitem na mesma frequência, é crucial impedir que dois dispositivos transmitam informação ao mesmo tempo a fim de evitar a interferência entre sinais e destruição de informação. Desta forma, também se garante uma maior eficiência energética. O módulo recetor apenas é ativo em janelas temporais específicas em que o *Master* aguarda comunicação de dados por parte dos *Slaves*.

O módulo GPS apenas é ativo após se verificar o estado em que o *Master* foi roubado. Assim que as coordenadas sejam adquiridas, é desligado.

O módulo GSM, é ativo no caso em que um ou mais *Slaves* sejam roubados, no caso em que o *Master* seja roubado ou no caso em que um ou mais *Slaves* deixem de comunicar.

O módulo do acelerómetro é ativo de cinco em cinco segundos imediatamente antes da abertura da janela de comunicação *checkTheft*. São retiradas amostras do acelerómetro durante um intervalo *T_{acel}* e, de seguida, o módulo é desligado.

Todos os módulos são controlados por portas digitais do micro-controlador, portas estas que estão ligadas diretamente a um Mosfet que liga ou desliga a alimentação dos módulos. De seguida apresenta-se uma explicação detalhada de cada estado.

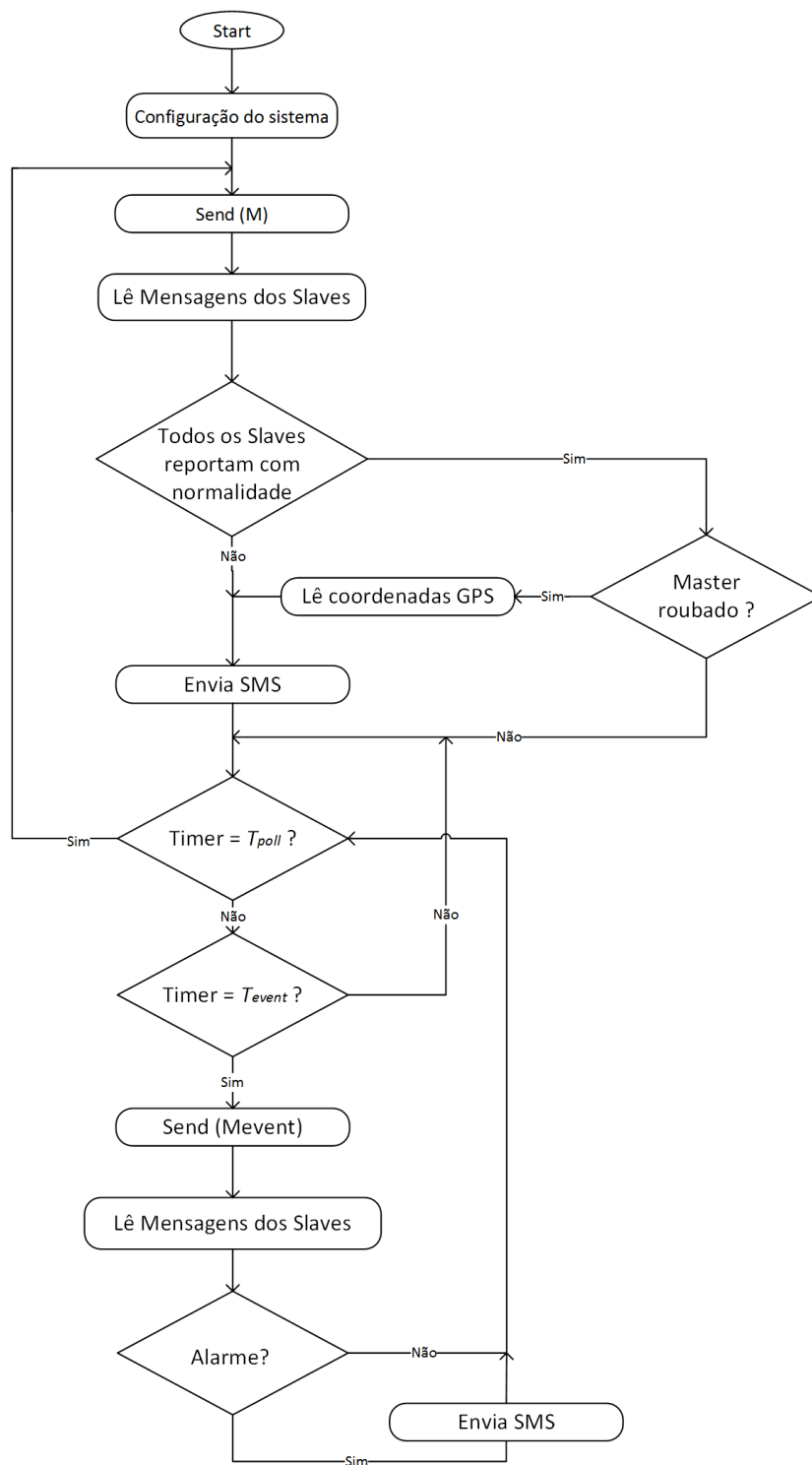


Figura 6.5: Fluxograma do módulo central

Segundo o fluxograma anterior, o funcionamento do *Master* dá-se da seguinte forma:

1. **Start:** Início do fluxograma do dispositivo *Master*, corresponde ao momento em que o *Master* é ligado. Ocorre quando se inicia o sistema ou no caso de ser feito um *reset*.

Configuração	Módulo GSM	Módulo GPS	Módulo RF	Módulo Acelerómetro
Tipo de Comunicação	UART	UART	UART	ADC
Baudrate"bps"	19200	19200	1200	-
Taxa de amostragem	-	-	-	1KHz

Tabela 6.1: Valores de configuração e descrição dos tipos de comunicação para o módulo Central

- 2 **Configuração do sistema:** nesta ação é feita toda a configuração do sistema. Começa por fazer uma configuração do sistema que inclui:

- [i] Configurar 3 módulos UART para o módulo GSM, GPS e RF respetivamente.
- [ii] Configurar o módulo ADC, para três entradas analógicas.
- [iii] Configurar *timers* usados posteriormente na contagem de tempo entre comunicações e leituras do sensor.
- [iv] Configuração de interrupções e prioridades.
- [v] Configurações gerais do sistema parametrizáveis pelo utilizador: Explicadas na secção 6.1.3, na tabela 6.1 estão descritos os tipos de comunicação para os vários módulos do *Master*.

- 3 **Send(M):** nesta ação, o *Master*, a cada T_{poll} segundos, liga o transmissor e envia uma mensagem de sincronismo em broadcast para todos os slaves. No fim da transmissão desliga o módulo transmissor.

- 4 **Lê mensagens dos Slaves:** nesta ação, o *Master* liga o recetor wireless e recebe mensagem de todos os slaves em janelas temporais distintas, sendo que a ordem de receção começa pelo *Slave* que tem atribuído o ID=1 e termina no último slave ID=N. Finalmente desliga o módulo recetor.

- 5 **Todos os slaves reportam com normalidade:** nesta decisão, caso um ou mais *Slaves* não tenham comunicado com o *Master*, o fluxo do programa segue para a decisão **Envia SMS**. Caso a comunicação tenha decorrido com normalidade, significa que o sistema está totalmente operacional e passa para a decisão **Master roubado**.

- 6 **Lê coordenadas GPS:** nesta ação, visto o *Master* ter sido roubado, é inicializado o módulo GPS e são recebidas as coordenadas geográficas da posição atual do mesmo.

- 7 **Envia SMS:** nesta ação é enviada uma mensagem ao apicultor. Uma mensagem é enviada no seguimento de uma das seguintes decisões:
 - [i] Master foi roubado: é enviada uma mensagem ao apicultor com as coordenadas geográficas atuais do módulo *Master*.
 - [ii] Um ou mais *Slaves* foram roubados: é enviada uma mensagem ao apicultor a sinalizar o *ID* dos *Slaves* roubados.
- 8 **Timer = *Tpoll* :** caso o *timer* encarregue de sinalizar a próxima comunicação de verificação *keep alive* contabilizar *Tpoll* , o fluxo do programa segue para a ação **Send(M)**.
- 9 **Master roubado? :** nesta decisão, é ativado o sensor e durante *Tacel* são recolhidas amostras do acelerómetro a uma frequência de 125KHz. Caso o sistema detete valores superiores à soma do valor de referência mais um *threshold* determinado experimentalmente, significa que ocorreu uma intrusão e o fluxo do programa passa para **Lê coordenadas GPS**. Caso o *Master* não tenha sido roubado o fluxo do programa segue para **Timer = *Tpoll* .**
- 10 **Timer = *Tevent*:** nesta decisão, caso o *timer* que faz a comparação do seu valor a *Tevent* tenha um tempo inferior, o fluxo do programa segue para **Timer = *Tpoll***. Caso seja igual, o fluxo do programa segue para **Send (M)** e abre uma janela de comunicação para, caso haja motivo, os *Slaves* reportarem roubo.
- 11 **Alarme:** caso um ou mais *slaves* tenham sido roubados, o fluxo do programa segue para a ação **Envia SMS**. Em caso contrário, o fluxo do programa segue para a decisão **Timer = *Tpoll***.

6.1.2 Funcionamento do módulo básico

O dispositivo *Slave* funciona de acordo com o fluxograma da figura 6.6. Similarmente ao *Master*, consoante o estado em que se encontra o programa os vários módulos ligados ao micro-controlador estão ativos ou desativos. O dispositivo *Slave* tem um módulo RF com transmissor e recetor e um módulo acelerómetro. Ambas as alimentações são controladas com a ajuda de um mosfet de *switching*.

O ligar e desligar dos módulos RF encontra-se em coerência com o mesmo módulo do *Master*. O módulo acelerómetro é também ativado a cada *Tpoll* segundos durante *Tacel* e depois desativo novamente.

Seguindo o fluxograma da figura 6.6, o funcionamento do Slave dá-se da seguinte forma:

- 1 **Start:** esta é a ação inicial do programa, podendo acontecer em duas situações distintas. Quando se inicia o dispositivo *Slave* pela primeira vez ou quando é feito um *reset* ao sistema.
- 2 **Configura Sistema:** ação de configuração em que o módulo *Slave* ativa o *transceiver* para modo de receção e aguarda ininterruptamente por uma mensagem com um preâmbulo indicativo de configuração vinda do *Master*. Essa mensagem inclui o *ID* que lhe irá ser atribuído e os intervalos temporais impostos pelo *Master* para cada comunicação TDMA de estado e também para cada sinalização de roubo. Após o *Slave* receber a

mensagem de configuração envia um *echo* dela para o *Master* que serve de acknowledge. De seguida calibra o acelerómetro com o mesmo método que o módulo *Master* e passa para o estado *Receive(M)*. Na tabela 6.2 são mostrados os valores de comunicação do *Slave* com os respetivos módulos periféricos.

Configuração	Módulo RF	Módulo Acelerómetro
Tipo de Comunicação	UART	ADC
Baudrate"bps"	1200	-
Taxa de amostragem	-	1KHz

Tabela 6.2: Valores de configuração e descrição dos tipos de comunicação para o módulo básico

- 3 **Receive (M)**: nesta ação, o módulo básico ativa o módulo recetor RF e fica à escuta até receber os bytes de sincronismo, após receber o carater terminador, desliga o módulo recetor.
- 4 **Lê mensagem do Master**: nesta ação, o *Slave* analisa o conteúdo da mensagem, verificando se o tipo de mensagem enviados pelo *Master* corresponde a uma mensagem do tipo *keepAlive* ou de sinalização de roubo.
- 5 **Mensagem do tipo keep alive**: nesta decisão, caso o tipo de mensagem recebida seja do tipo *keepAlive*, o fluxo do programa segue para a ação **Envia mensagem (S)**. Em caso negativo o *Slave* retorna para a ação **Receive (M)**.
- 6 **Envia mensagem (S)**: nesta ação, dependendo do *ID* do *Slave*, este vai comunicar numa janela temporal pré-definida. Admitindo que o módulo central abre N slots de comunicação em que N corresponde ao número de módulos básicos. $X \cdot t_{slot}$ corresponde ao tempo que o slave com $ID=X$ tem de aguardar para enviar a sua informação para o módulo central e $N \cdot t_{slot}$ corresponde ao tempo total de uma janela de comunicação. O módulo básico ativa o transmissor e envia uma mensagem *keep alive* para sinalizar que está operacional ou uma mensagem a reportar roubo. O tipo de mensagem enviada depende do pedido do *Master*.
- 7 **ACK recebido**: nesta decisão, o *Slave* verifica se já recebeu alguma mensagem ACK do *Master*. Em caso afirmativo, não são feitas mais verificações ao sensor e nesse caso o fluxo do programa passa para a decisão **Timer = Tpoll**. Em caso contrário o fluxo do programa passa para a decisão **Timer = Tevent**.
- 8 **Timer = Tpoll**: caso o *timer* encarregue de sinalizar a próxima comunicação de verificação *keep alive* contabilizar T_{poll} , o fluxo do programa segue para a ação **Receive(M)**. Em caso contrário o fluxo do programa passa para a decisão **Tevent**.
- 9 **Timer = Tevent**: nesta decisão, caso o *timer* que faz a comparação do seu valor a T_{event} tenha um tempo inferior, o fluxo do programa segue para a decisão **Timer = Tpoll**. Caso seja igual, o fluxo do programa segue para a decisão **Slave roubado**.

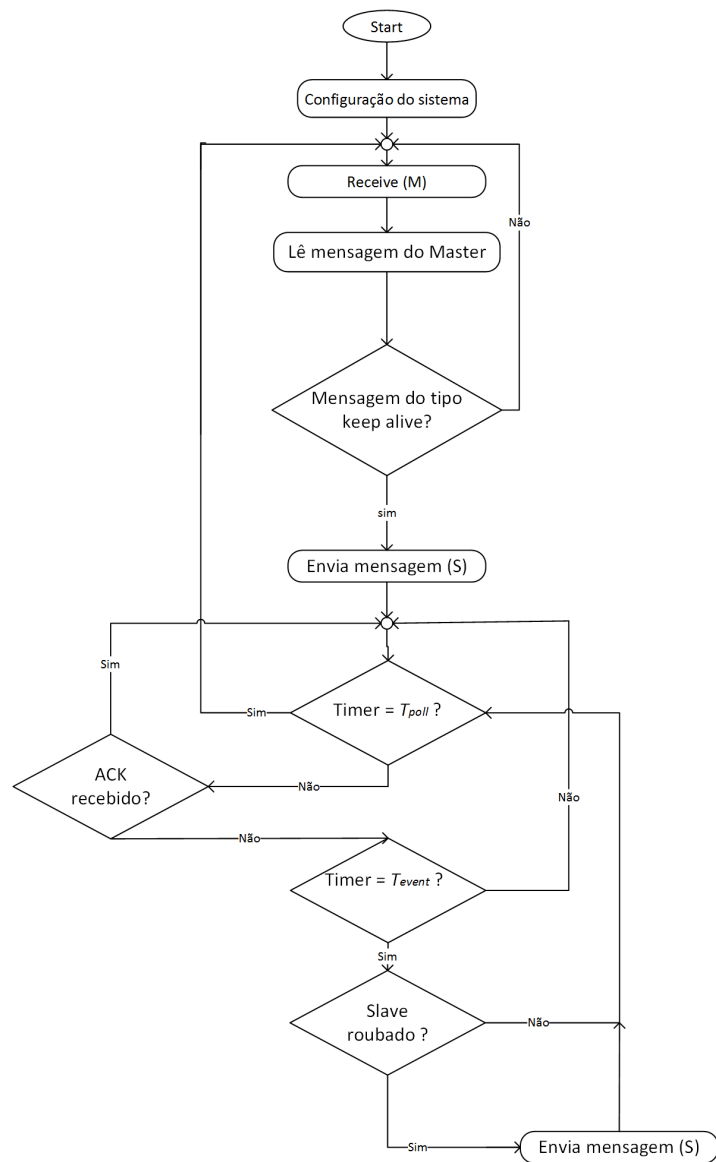


Figura 6.6: Fluxograma do módulo básico

- 10 **Slave roubado:** esta decisão faz uma verificação ao sensor do *Slave* durante *T_{acel}*. Caso tenha sido detetado roubo, o fluxo do programa segue para a ação **Envia mensagem (S)**. Caso não tenha ocorrido um roubo, o fluxo do programa passa para a decisão **Timer = T_{poll}**.

6.1.3 Modo de configuração

O modo de configuração é automaticamente executado quando o sistema é alimentado. Todas as configurações são feitas mediante uma conexão entre o módulo central e um terminal série iniciado por um computador. Este modo permite configurar parâmetros do sistema relativos ao *Master* e aos *Slaves* sendo eles:

- 1 Definir o intervalo de comunicação entre o *Master* e os *Slaves* para a mensagem *keep alive* (**Mensagem(M)**): o instalador do sistema escolhe o intervalo de tempo pretendido para comunicação em rede entre o *Master* e os *Slaves*. Este intervalo de tempo é variável e pode ser ajustado pelo utilizador entre um mínimo de cinco segundos e máximo de duas horas.
- 2 Definir intervalo de tempo a que o *Master* abre janelas de sinalização de roubo para os *Slaves*: neste parâmetro de configuração, após o instalador definir o tempo pretendido, este valor é armazenado em memória não volátil no micro-controlador. Apenas quando o instalador seleciona a opção *configurar novo Slave*, este valor assim como os restantes parâmetros pertinentes são enviados para o *Slave* pretendido via RF.
- 3 Definir intervalo de tempo em que o cliente ou a central recebem uma mensagem a sinalizar roubo e coordenadas GPS: este tempo é configurável entre 1 minuto e 24 horas. Quanto maior for o intervalo de tempo entre cada mensagem maior será a duração da bateria e mais prolongado será o *tracking* do objeto.
- 4 Tempo configurado entre comunicações *keepAlive*: quando o instalador seleciona esta opção, é-lhe mostrado num terminal o tempo atual configurado no sistema para mensagens *keepAlive*.
- 5 Tempo configurado entre janelas de sinalização de roubo: quando o instalador seleciona esta opção, é-lhe mostrado num terminal de quanto em quanto tempo é aberta uma janela por parte do *Master* para sinalização de roubo.
- 6 Configurar novo *Slave*: quando selecionada esta opção, o *Master* comunica via RF com o *Slave*, *Slave* este que também está no modo de configuração (o instalador tem de reiniciar o *Slave* em causa ou no caso de ser a primeira vez que é ativo simplesmente ligá-lo) e na mensagem que lhe envia, atribui-lhe um *ID* único, e indica os intervalos de tempo que pode sinalizar roubo e que tem de comunicar em resposta à mensagem *broadcast keepAlive*. Se o *Slave* é configurado com sucesso, o *Master* recebe um *echo* deste e adiciona à sua lista de *ID*'s ativos o *ID* do *Slave* configurado.
- 7 Desativar *Slave*: nesta opção, o *Master* remove da sua lista de *ID*'s o *ID* do *Slave* em causa selecionado pelo instalador. Após isso, o *Master* não volta a abrir a *slot* respetiva ao *Slave* desativado nas janelas temporais de comunicação.
- 8 Listar *Slaves* configurados: mostra o número de *Slaves* ativos e quais os seus *ID*'s.



Figura 6.7: Estrutura dos pacotes enviados pelo Master

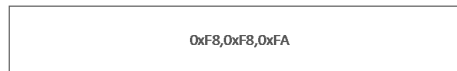


Figura 6.8: Mensagem de sincronização do Master

- 9 Calibração do acelerómetro: nesta opção é efetuada uma calibração do acelerómetro. O método consiste em fazer a média ponderada de 100 amostras segundo os três eixos do acelerómetro. Este valor é armazenado em memória como valor de referência e, posteriormente, é utilizado para definir um *threshold* que é usado como limiar de decisão para deteção de roubo.
- 10 Sair do modo de configuração: escolhida esta opção, o sistema passa para o estado *Abre janela de comunicação TDMA com os Slaves*

6.1.4 Estrutura dos pacotes TDMA do Master

A comunicação *wireless* entre o *Master* e os *Slaves* foi a parte mais demorada e complexa de desenvolver neste sistema. Como irá ser comprovado no Capítulo 7, os módulos utilizados revelaram diversas deficiências que geraram alguns problemas. Vão ser agora apresentados os pacotes de comunicação utilizados pelo *Master* bem como o comprimento e conteúdo de cada campo.

Todos os pacotes enviados pelo *Master*, seguem a estrutura apresentada na figura 6.7:

- 1 SyncRF: esta secção da mensagem destina-se a permitir a sincronização entre o transmissor e o recetor, sendo de extrema importância. Derivado do facto dos módulos RF utilizados terem um tempo de sincronização bastante superior ao exetável, a mensagem de sincronização está indicada na figura 6.8.

Esta mensagem de sincronização foi escolhida por forma a manter os primeiros 2 bytes com o mínimo de zeros e do segundo para o terceiro ter várias variações entre o valor lógico "1" e o valor lógico "0". Desta forma garantimos num grande compasso de tempo o valor lógico 1 que permite ao módulo ajustar o ganho para a frequência exata em que o transmissor está a transmitir [32].

Experimentalmente não foi obtido sucesso na sincronização com os 20ms de sincronização correspondentes ao envio desta trama. Para obter resultados satisfatórios optou-se por reenviar 25 vezes esta trama, correspondendo assim a *Tacel* de sincronização.

- 2 Message Type: como o nome indica, informa os *Slaves* que tipo de mensagem está a ser enviada. De acordo com isso, os *Slaves* devem responder à informação requerida pelo *Master*. As mensagens podem sinalizar 3 tipos diferentes de situações:

[i] Verificação da atividade dos *Slaves*: o *Master* indica aos *Slaves* que vai abrir uma janela temporal, cada uma com T(M) para os *Slaves* comunicarem por ordem crescente de *ID*'s. Esta comunicação é realizada imediatamente após o *Master* finalizar a transmissão da mensagem.

[ii] Informar os *Slaves* que vai ser aberta uma janela temporal para eventos, nomeadamente caso algum *Slave* tenha sido roubado, comunicar com o *Master*: esta mensagem apenas é recebida pelos *Slaves* que detetaram intrusão e que querem reportar o sucedido ao *Master*.

[iii] Enviar *acknowledge* para os *Slaves*: caso um ou mais *Slaves* tenham sinalizado que foram roubados, estes ligam o módulo de recepção e aguardam pelo *acknowledge* do *Master* no intervalo de tempo imediatamente após a sinalização do roubo. O *acknowledge* tem o objetivo de informar os *Slaves* roubados que o *Master* recebeu com sucesso a informação que estes lhe enviaram. Os *Slaves* em causa já não voltam a sinalizar o roubo ao *Master*. O *acknowledge* contém o *ID* dos *Slaves* que comunicaram roubo.

3 RCT/Terminator: RCT "Reset Clock Timer"/Terminator, corresponde ao último byte de uma mensagem TDMA do *Master*. No momento em que os *Slaves* recebem este byte, sabem que corresponde ao fim da mensagem do *Master*. Também quando é recebido o RCT/Terminator, os *Slaves* sincronizam imediatamente o relógio com o *Master*.

Tabela 6.3: Argumentos numa mensagem TDMA do Master

Master	Descrição
Sincronização	0xF8,0xF8,0xFA
Tipo de Mensagem	AB,AX,AS
ID	1-99
RCT/Terminator	C

Tabela 6.4: Tipo de mensagem e bytes associados a ela

Tipo de Mensagem	Bytes
AB	Indica que na próxima janela todos os <i>Slaves</i> comunicam o keep alive
AX	Indica que a proxima janela é para os <i>Slaves</i> que tiverem sido roubados comunicarem
AS	Indica quais os slaves que comunicaram a deteção de roubo ao Master

6.1.5 Estrutura dos pacotes TDMA dos Slaves

As mensagens TDMA dos *Slaves* são enviadas sempre como resposta a um pedido do *Master*. Todas as mensagens dos *Slaves* são enviadas em janelas temporais pré-definidas e de

acordo com o seu *ID*.

Na figura 6.9, apresenta-se os campos de uma mensagem do *Slave*.

O primeiro *byte* indica o estado do *Slave* e os dois estados seguintes indicam o seu *ID*, tal como mostrado na tabela 6.5.



Figura 6.9: Estrutura dos pacotes enviados pelo Slave

Todos os pacotes enviados pelo *Slave* apresentada na figura 6.9, seguem a seguinte estrutura:

- 1 SyncRF: a mensagem de sincronização do *Slave* é igual à enviada pelo *Master*, estando representada na figura 6.8.
- 2 Data: neste campo, é transmitida a informação requerida pelo *Master*. A informação enviada para o *Master* vai embutida no *ID* do *Slave*. Isto acontece para reduzir o comprimento das mensagens, o tempo das janelas temporais e para simplificar a comunicação. Como a resposta ao *Master* é dada em função do que é pedido por ele, o byte comum dos *Slaves* indica o tipo de resposta.

Tabela 6.5: Tipo de resposta e bytes associados

Data	Bytes
AXX	Indica que o Slave com o ID <i>XX</i> "00-99" está operacional
BXX	Informa o Master que o Slave com o ID <i>XX</i> "00-99" foi roubado

- 3 Terminator: corresponde ao último byte de uma mensagem TDMA do *Slave*. No momento em que o *Master* recebe este byte, mesmo que o tempo da *slot* não tenha chegado ao fim, o Master encerra a recepção de dados deste *Slave*.

6.1.6 Instalação do sistema

Após falar com a técnica apícula Andrea Casqueira, chegou-se à conclusão que a melhor localização deste sistema seria num quadro de uma colmeia. Tanto o módulo central como o módulo básico são possíveis de incorporar num quadro de uma colmeia visto terem dimensões reduzidas, como foi mostrado na tabela 5.2. Desta forma, o módulo não fica visível para uma pessoa que esteja a olhar para a colmeia. Um ladrão não tem forma de saber se a colmeia tem algum sistema de monitorização instalado a não ser que veja o seu interior.

A figura 6.10 mostra um quadro de uma colmeia ainda antes de ter a cera. Como o dispositivo *Master* e *Slave* do Sistema irão ter dimensões reduzidas e pelo fato de esta ser uma estrutura universal integrante de uma colmeia, a instalação do sistema numa das extremidades inferiores do quadro é uma localização adequada à instalação do sistema. Os motivos são os seguintes:

- 1 Localização oculta: o ladrão não sabe se a colmeia tem um sistema de segurança e além disso, também não faz ideia onde ele está localizado, caso exista.
- 2 Se porventura o ladrão tentar remover todos os quadros da colmeia na tentativa de encontrar um sistema de monitorização, mal ele eleva o quadro que contém a colmeia, o sensor deteta automaticamente uma tentativa de roubo e comunica imediatamente com o *Master*.



Figura 6.10: Quadro típico de uma Colmeia

Capítulo 7

Testes Experimentais

Nesta secção reportam-se os resultados dos testes efetuados aos diversos subsistemas do sistema desenvolvido. Os testes feitos foram os seguintes:

- 1 Acelerómetro - Testes reportados na secção 7.1.
- 2 Módulo GPS - Testes reportados na secção 7.2.
- 3 Módulo GSM - Testes reportados na secção 7.3.
- 4 Módulos RF - Testes reportados na secção 7.4.
- 5 Teste global ao sistema - Testes reportados na secção 7.5.

7.1 Acelerómetro

No caso do acelerómetro o objetivo é determinar limiares de decisão por forma a ajustar o sensor e tirar o máximo proveito dele na deteção eficaz de intrusão. O eixo dos xx do acelerómetro usado está danificado pelo que não foram incluídos quaisquer resultados acerca deste. Foram feitos os seguintes testes de sensibilidade:

1. Tarar o módulo segundo os dois eixos (yy e zz).
2. Manter o módulo em repouso numa mesa para verificar valores de pico em repouso.
3. Inclinar o acelerómetro segundo os dois eixos desde o seu estado de repouso até percorrer 180 graus de amplitude.

Tarar o módulo segundo os dois eixos: Este teste tem o objetivo de testar a fiabilidade do acelerómetro e verificar as oscilações máximas que podem ocorrer numa situação de repouso. As condições de teste foram as seguintes:

1. Frequência do módulo de conversão ADC 173KHz.
2. Largura de banda Xout, Yout e Zout, de 500Hz.
3. Realização de 100 amostras.

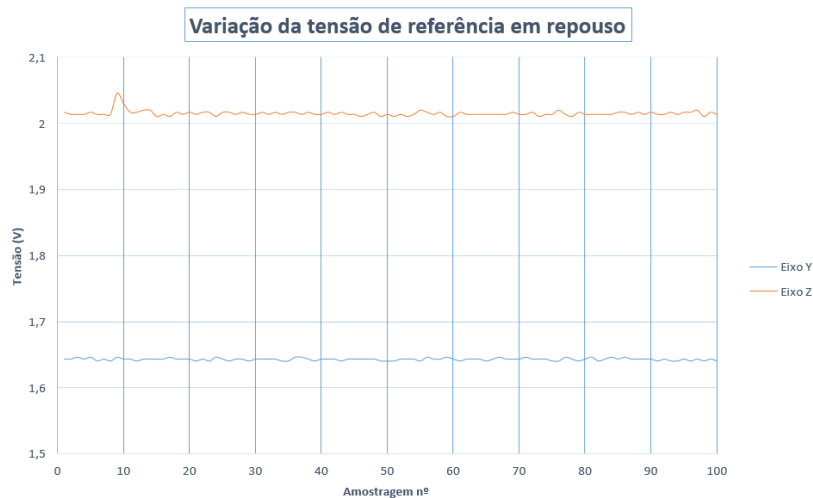


Figura 7.1: Tensão em repouso do acelerómetro segundo os seus eixos

4. Valores impressos via terminal segundo UART, com baudrate de 115200.

Analisando a figura 7.1 em que temos a leitura das medidas de tensão à entrada das portas analógicas do dispositivo *Master*, após a conversão pelo módulo ADC, concluímos que temos oscilações mínimas segundo cada eixo. Temos uma variação de pico máxima segundo o eixo dos Z inferior a 50mV e segundo Y inferior a 10mV.

Manter o módulo estático para verificar valores de pico em repouso: Para este teste foram utilizadas as mesmas configurações. O seu objetivo foi o seguinte:

1. Com as amostras da alínea anterior, calcular a média ponderada de tensão segundo os eixos em causa.
2. Calcular a diferença entre o valor de média ponderada e o valor atual medido.
3. Determinar valores de pico.

Num segundo teste, cujo resultado se encontra nas figuras 7.2,7.3, foram executadas 14000 leituras dos valores do acelerómetro. O objetivo é encontrar uma gama de valores do módulo quando ele se encontra estático. Foi detetada uma gama dinâmica segundo Y de 0-0.010 V e segundo o eixo dos Z de 0-0.021 V.

Inclinar o acelerómetro segundo os 3 eixos desde o seu estado de repouso até perfazer 180 graus. Sabendo que uma colmeia se mantém estática ou com bastante poucas vibrações quando está em repouso, sendo que a maioria das vibrações são causadas pelo vento, tem-se o objetivo de encontrar um limiar de decisão que permita detetar com segurança a violação de uma colmeia e assim evitar falsos positivos. Para isso, partindo de um estado de repouso, movimentou-se o acelerómetro, fazendo variar a amplitude com intervalos de 15 graus e determinou-se qual a variação entre a tensão atual e a de referência.

A imagem 7.4, indica qual a variação da tensão no acelerómetro fazendo variar a amplitude com incrementos de 15 graus, segundo a direção *anticlockwise* e segundo um plano ortogonal

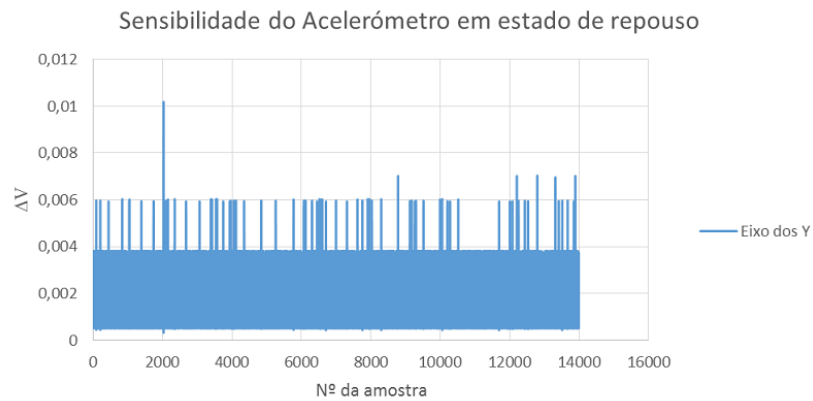


Figura 7.2: Sensibilidade do eixo y

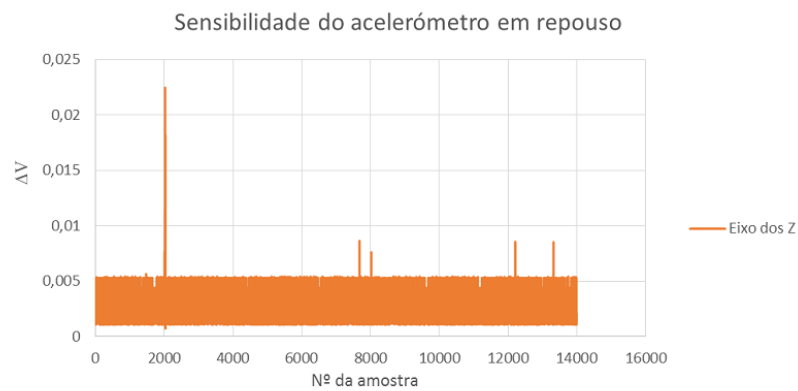


Figura 7.3: Sensibilidade do eixo z

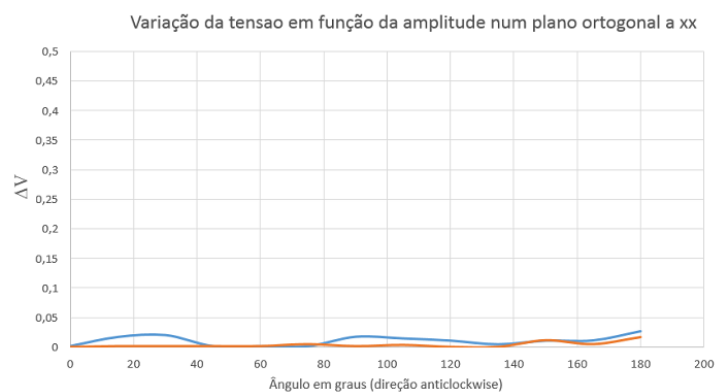


Figura 7.4: Variação da tensão no acelerómetro segundo segundo plano ortogonal xx em função da amplitude

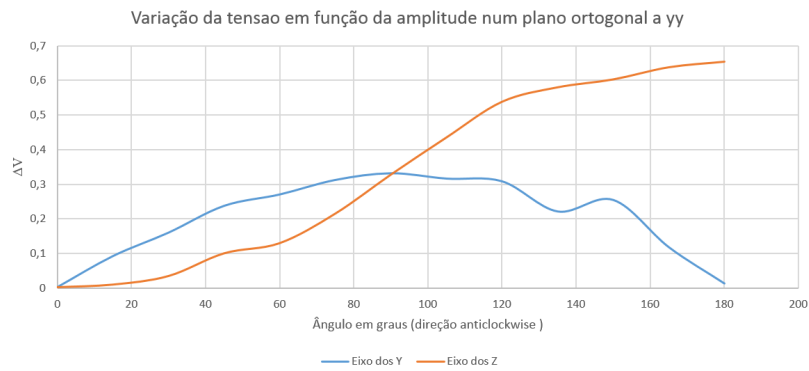


Figura 7.5: Variação da tensão no acelerómetro segundo plano ortogonal a yy em função da amplitude

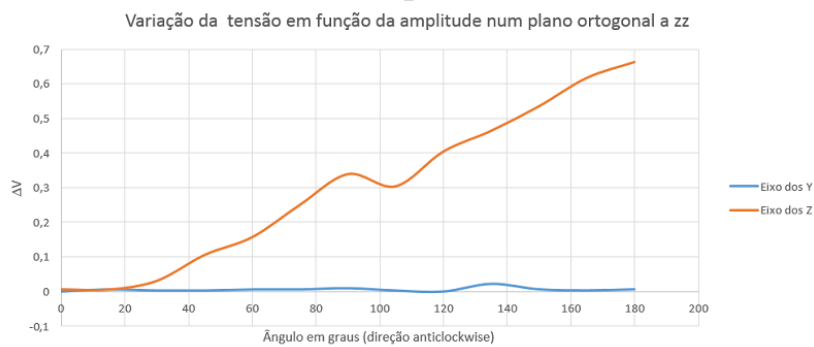


Figura 7.6: Variação da tensão no acelerómetro segundo plano ortogonal a zz em função da amplitude

a xx. Sabendo que no referencial considerado, o plano dos xx corresponde ao plano do solo, a variação da amplitude nos eixos Y e Z são nulas já que a força exercida no acelerómetro segundo estes eixos não varia.

A imagem 7.5, indica também a variação da tensão no acelerómetro desta vez fazendo variar a amplitude segundo um plano ortogonal a yy. Neste caso como é possível constatar, segundo o eixo dos Y a força exercida pela gravidade começa nula, aos 90 graus atinge 1G e em seguida volta a diminuir até ao estado de repouso ou 0G. Segundo Z o percurso é idêntico até aos 90 graus contudo continua a aumentar até 0.65 V, o que significa que no total o acelerómetro sofreu uma variação de aceleração de 2G.

A imagem 7.6, faz referência à variação da tensão em função da amplitude num plano ortogonal a zz. Neste caso a variação segundo Y é nula e segundo Z é idêntica à da imagem 7.5.

Feito um cruzamento de dados entre estes três gráficos foi considerado um *threshold* de roubo caso a colmeia sofresse uma vibração que a obrigasse a oscilar 10 graus segundo os três eixos. A que corresponde uma variação de tensão:

1. 0.091V segundo o eixo dos Y
2. 0.039V segundo o eixo dos Z

7.2 Módulo GPS

Para o módulo GPS foi executado o seguinte teste:

1. Verificação do tempo de aquisição de coordenadas GPS no modo *Cold-Start* e *Hot-Start*.

Amostra	Cold-Start	Hot-Start
1	2,341s	0,632s
2	2,567s	0,553s
3	2,503s	0,595s
4	2,498s	0,576s

Tabela 7.1: Tempo de aquisição de coordenadas GPS

Na tabela 7.1, podemos notar que o tempo de aquisição de coordenadas é relativamente baixo. O módulo quando encontra satélites, guarda a sua informação. Isto torna mais rápida uma próxima tentativa de aquisição de sinal (*Hot Start*). No modo *Cold-Start* obteve-se um tempo máximo de 2,567s e um desvio padrão de 0,096. Já no modo *Cold-Start* obteve-se um tempo máximo de 0,632s e um desvio padrão de 0,033.

7.3 Módulo GSM

Os testes realizados com o módulo GSM foram os seguintes:

1. Registo do tempo de deteção e registo na rede operadora.
2. Determinar a taxa de sucesso no envio de mensagens.

Amostra	Tempo de registo na rede	Tempo de envio de mensagem	Tempo total
1	10,828s	5,585s	16,413s
2	9,335s	5,585s	14,920s
3	9,828s	5,585s	15,413s
4	9,021s	5,585s	14,606s

Tabela 7.2: Tempo de registo na rede e de envio de mensagem

Calcular o intervalo de tempo entre a ativação do módulo de GSM e o registo do cartão na operadora. Este tempo pode variar significativamente consoante a localização geográfica do módulo. Dependendo da potência do sinal da operadora o tempo de registo do cartão pode variar. Em experiência laboratorial os tempos foram em média 9.834s.

Tempo que demora o envio de uma mensagem. Este tempo é constante com o valor de 5,585 segundos. Como a programação tem intervalos fixos de espera de mensagens do módulo GSM o tempo total também é fixo. Durante a fase de testes, todas as mensagens foram enviadas e recebidas com sucesso pelo utilizador.

O tempo máximo de aquisição de sinal foi de 16,413s e o desvio padrão foi de 0.407.

7.4 Módulos RF

Para os módulos RF foram executados três testes. Estes consistem em:

1. Verificação se o intervalo de tempo entre cada comunicação TDMA keepAlive corresponde ao configurado no modo configuração.
2. Verificação se o intervalo de tempo entre cada comunicação TDMA checkTheft aberta corresponde ao configurado no modo de configuração.
3. Monitorizar a taxa de mensagens recebidas com sucesso pelo *Master*.

Foram feitos com as seguintes condições:

1. Módulos relativamente próximos, 20cm entre si.
2. Massas comuns a todos os módulos.
3. Intervalo de tempo entre cada comunicação keepAlive configurado para 35 segundos.
4. Intervalo de tempo entre cada abertura de janela checkTheft configurado para cinco segundos.

Determinar o intervalo de tempo entre duas janelas de comunicação consecutivas keepAlive Para este teste, figura 7.7, foram abertas 50 janelas temporais TDMA do tipo keepAlive com o objetivo de verificar o desfasamento temporal entre estas, que foi de 8ms.

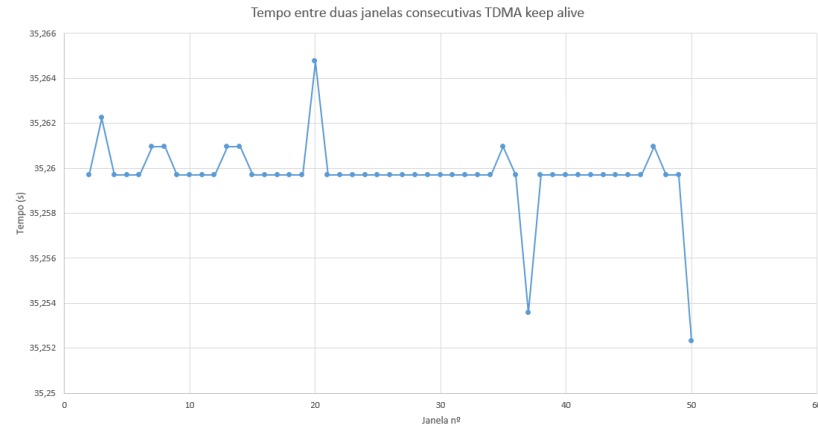


Figura 7.7: Tempo de comunicação entre cada janela TDMA keepAlive consecutivas

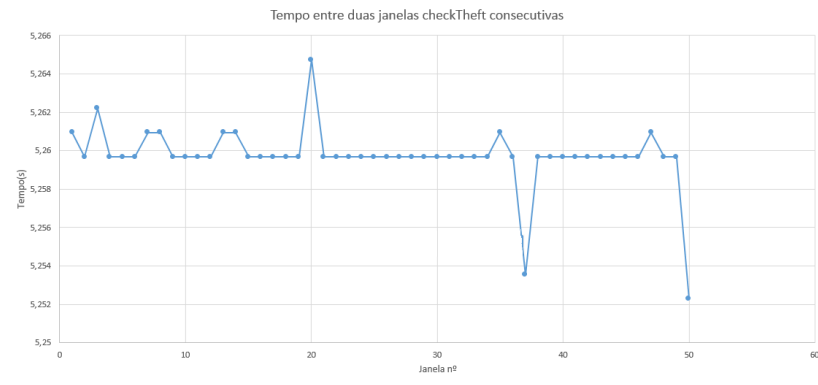


Figura 7.8: Tempo de comunicação entre cada janela checkTheft consecutiva

Monitorizar a taxa de mensagens keepAlive recebidas com sucesso pelo Master. Para este teste, figura 7.8, foram abertas 50 janelas temporais TDMA do tipo checkTheft com o objetivo de verificar o desfazamento temporal entre estas, que foi de 8ms.

Monitorizar a taxa de mensagens checkTheft recebidas com sucesso pelo Master. Este teste foi realizado em conjunto com o teste anterior. Para testar exaustivamente o sistema, foi simulado uma tentativa de comunicação por parte dos dois *Slaves* em todas as janelas TDMA checkTheft para verificar quantas mensagens iriam ser recebidas com sucesso pelo *Master*. Foi constatado que num total de 100 mensagens, 96 foram recebidas com sucesso pelo *Master* e 4 não foram recebidas. Existe também um erro de 1% e de 0.16% entre os tempos configurados e os obtidos na simulação para a janela keepAlive e checkTheft respetivamente.

7.5 Teste Global

Para testar a funcionalidade do sistema globalmente, foi simulada uma tentativa de passar com sucesso as seguintes etapas:

1. Movimentar o acelerómetro e verificar se na próxima janela TDMA o módulo central recebe a informação do módulo básico em causa.
2. Verificar se esse mesmo módulo básico recebe *acknowledge* do módulo central após a sinalização de roubo, em caso afirmativo verificar se o módulo básico passa apenas a trocar mensagens *keepAlive* com o modulo central.
3. Módulo central envia mensagem para o utilizador a informar que o módulo com o *ID* específico foi violado.
4. Módulo central continua a abrir janelas temporais *checkTheft* e *keepAlive*.
5. Verificar que o *Master* apenas ativa o GPS e envia SMS ao cliente com coordenadas quando ele próprio foi roubado.
6. Após envio de mensagem ao utilizador a sinalizar roubo, verificar que apenas são enviadas mais SMS's em dois casos distintos, caso mais algum módulo tenha sido violado, ou no caso de o módulo central ter sido violado. Neste último, verificar que o módulo central envia mensagens periodicamente ao utilizador de acordo com o intervalo de tempo estipulado na configuração do sistema. Nessa mensagem terão de vir incluídas as coordenadas de GPS atuais.

Verificou-se o correto funcionamento do sistema de acordo com os requisitos acima estipulados. A latência entre a deteção do roubo e a sinalização via SMS ao cliente tem uma latência variável visto que apenas a cada T_{event} segundos os sensores são verificados. No limite, até à deteção do roubo e posterior sinalização ao módulo central serão necessários T_{event} segundos mais 500ms (tempo durante o qual o sensor ativa para verificação de roubo). A aquisição de sinal GPS demora em média cerca de dois segundos e o envio de mensagem 15 segundos. A latência máxima entre a deteção de roubo e o envio da mensagem para o cliente será de $17.5 + T_{event}$ segundos. Por outro lado, a latência mínima será de 17,5 segundos.

Teste	Latência de deteção de roubo (Segundos)	Sinalização para o Master (Segundos)	Tempo receção coordenadas (Segundos)	Envio de SMS (Segundos)	Tempo total (Segundos)
1	4,103	0.803	0,533	15,746	21,185
2	3,764	0.802	0,468	14,699	19,733
3	1,362	0.802	0,451	15,937	18,552
Worst case	4,5	0,803	48	15,937	67,550

Tabela 7.3: Tempo global médio para deteção de roubo

Para os testes da tabela 7.3, a latência de deteção de roubo foi considerada a latência entre a primeira movimentação do sensor até o módulo detetar roubo. Como apenas se verifica o sensor durante 500ms, foi imposta esta condição para garantir que o sensor deteta o roubo.

Não foram realizados testes exaustivos ao modo de configuração do sistema devido a uma avaria nos módulos RF.

Capítulo 8

Conclusão e trabalho futuro

Nesta dissertação foi proposto um sistema de monitorização para colmeias. Devido ao aumento de furtos de colmeias, o desenvolvimento de sistemas de segurança e monitorização para apiários, é uma área que tem cada vez mais vindo a ser alvo de estudo e desenvolvimento de sistemas tanto em universidades, como também por empresas, em Portugal e no estrangeiro.

No Capítulo Estado da Arte, foram expostos a maioria dos sistemas já existentes à venda em Portugal. Concluiu-se que os sistemas apresentados não correspondiam às expectativas dos apicultores por terem um preço relativamente elevado e também por na sua maioria não conseguirem monitorizar totalmente um apiário. Os sistemas da Prosegur são a exceção, contudo têm encargos anuais elevados.

Nesta dissertação apresentou-se uma proposta de solução que difere de todas as outras por consistir num sistema personalizável baseado em dois módulos distintos. Assim, cabe ao apicultor optar por uma monitorização completa do apiário, ou parcial. A escalabilidade do sistema permite a adição de novos módulos caso inicialmente o apicultor opte por uma monitorização parcial e posteriormente decida aumentar a mesma. Este destaca-se dos demais existentes no mercado, por possibilitar a comunicação entre todas as colmeias e um dispositivo centralizado. Assim, permite uma supervisão mais abrangente do apiário a um custo mais reduzido.

Após a apresentação da solução, procedeu-se ao desenvolvimento de uma prova de conceito para demonstrar a sua utilidade. Alguns componentes utilizados estavam já disponíveis no laboratório do DETI no caso dos micro-controladores, mosfets e módulo acelerómetro. Os módulos de GSM e GPS apresentaram uma boa performance, contudo os módulos RF não tiveram o comportamento esperado. Para comunicação unidirecional entre dois micro-controladores foram necessários 380ms de sincronização para conseguir receber com sucesso uma mensagem sem erros de *framing*. Sendo que numa fase de testes inicial de comunicações RF não se conseguiu obter resultados positivos relativamente a taxa de sucesso de receção de mensagens RF, optou-se por ligar uma massa comum a todos os módulos por forma a equalizar a tensão de referência entre transmissores e recetores. Após este ajuste obtiveram-se taxas de sucesso de receção de mensagens de 96%. Apenas se usou um acelerómetro na prova de conceito, com o fim de evitar mais gastos com componentes não foram encomendados mais. A potencialidade do acelerómetro não foi totalmente utilizada visto que o pino de *output* da tensão referente ao eixo XX estava danificado.

Os testes experimentais mostraram que o sistema modular apresentado é viável e passível caso haja interesse por parte de uma empresa, a posterior prototipagem e comercialização.

Para futuro trabalho, sugere-se a alteração dos módulos RF-*link* por outros com características superiores. O tempo de envio de mensagem via GSM ao utilizador é passível de otimização, a solução passa por guardar todos os dados de configuração previamente, na memória não volátil do módulo GSM. A eficiência energética não foi abordada nesta dissertação, contudo, é importante majorar a otimização do sistema por forma a aumentar a sua autonomia. Uma sugestão é colocar os micro-controladores em modo *sleep* sempre que não tenham tarefas a fazer. Os módulos básicos apenas precisam de acordar periodicamente T_{poll} antes de cada sinalização de roubo para verificação do sensor e no instante antes às mensagens keepAlive. Após isso podem voltar ao modo *sleep*. É também crucial reduzir a duração de cada mensagem TDMA pois a eficiência energética aumenta bastante com isso.

Capítulo 9

Bibliografia

- [1] Público, *Aumento de roubos de colmeias preocupa apicultores*, <http://observador.pt/2015/04/09/operacao-da-gnr-colmeias-seguras-para-prevenir-furtos-no-distrito-de-braganca/>, [Online; accessed 19-July-2015], 2015.
- [2] Observador, *Aumento de roubos de colmeias preocupa apicultores*, <http://www.publico.pt/sociedade/noticia/aumento-de-roubos-de-colmeias-preocupa-apicultores-1541088>, [Online; accessed 19-July-2015], 2012.
- [3] Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Brasil, *Localização do apiário*, <http://www.cpamn.embrapa.br/publicacoes/folders/2002/apiario.pdf>, 2002.
- [4] Armino Junior and Janaina Nicolini, *Investimento inicial para instalação de apiário para exercício da atividade apícola*, <http://www.ciadaabelha.com.br/site/index.php?p=apicultura-investimento>, [Online; accessed 05-May-2015], -.
- [5] Diário Agrário Agronotícias Portugal, *Produção de mel rende 100 milhões*, <http://diarioagrario.blogspot.pt/2011/07/producao-de-mel-rende-100-milhoes.html>, [Online; accessed 01-June-2015], 2011.
- [6] Eng. Dulce Alves, APILEGRE, “Workshop de produção de geléia real”, 2008.
- [7] Monte do Mel, *Contabilidade apícola*, <http://montedomel.blogspot.pt/2013/04/contabilidade-apicola-parte-i.html>, [Online; accessed 01-June-2015], 2013.
- [8] Sit Consult company, *Um guarda de abelhas de alta tecnologia para vigiar os seus apiários*, <http://www.beeguard.pt/>, [Online; accessed 01-May-2015], 2010.
- [9] Appi Systems, *Vol de ruches*, <https://apisystems.wordpress.com/tag/vol-de-ruches/>, [Online; accessed 22-May-2015], 2012.
- [10] Beakcheol Jang, Jun Bum Lim, Mihail L. Sichitui, “An asynchronous scheduled mac protocol for wireless networks”, 2013.
- [11] Jérôme Rousselot, Amre El-Hoiydi, Jean-Dominique Decotignie, “Low power medium access control protocols for wireless sensor networks”, 2002.
- [12] A. EL-Hoiydi e J. Decotignie, “Wisemac: An ultra low power mac protocol for downlink of infrastructure wireless sensor networks”, 2007.
- [13] L. J. Harte, C. A. Jacobs e A. D. Smith, *IS-136 TDMA technology, economics, and services*. Artech House, Inc., 1998.
- [14] O. da Net, *O que é o gsm e como funciona?*, http://www.oficinadanet.com.br/artigo/733/gsm_o_que_e_e_como_funciona, [Online; accessed 22-May-2015], 2013.

- [15] Oficina da net, [Online; accessed 03-May-2015]. endereço: <http://www.oficinadanet.com.br/imagens/post/589/telephonie-mobile-images-reseau-cellulaire.png>.
- [16] R. P. Pirotti e M. Zuccolotto, “Transmissão de dados através de telefonia celular: Arquitetura das redes gsm e gprs”, *Revista Liberato, Novo Hamburgo*, vol. 10, nº 13, 2009.
- [17] SIMCOM Company. (2012). File: SIM908_AT_Command_V1.01.pdf, endereço: <http://wm.sim.com/producten.aspx?id=1057>.
- [18] T. R. Cunha, “Phd thesis”, *High Precision Navigation Integrating Satellite Information - GPS - and Inertial System Data*, 2002.
- [19] O. da Net, http://www.oficinadanet.com.br/imagens/post/12406/td_1.jpg, [Online; accessed 22-May-2015], 2013.
- [20] MediaTek, “Nmea packet user manual”, 2013.
- [21] Microchip, *Pic32mx family data sheet family*, http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC32MX_Datasheet_v2_61143B.pdf, [Online; accessed 18-February-2015].
- [22] —, *Pic18fxx data sheet family*, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41159d.pdf>, [Online; accessed 18-March-2015].
- [23] Olimex, 2013. endereço: <https://www.olimex.com/Products/Duino/AVR/OLIMEXINO-NANO-GSM/resources/SIM800H.pdf>.
- [24] —, *Olimexino nano gsm*, April 2011. endereço: <https://www.olimex.com/Products/Duino/AVR/OLIMEXINO-NANO-GSM/images/thumbs/310x230/OLIMEXINO-NANO-GSM-1.jpg>.
- [25] —, <https://www.olimex.com/Products/Modules/GPS/MOD-GPS/>, [Online; accessed 05-March-2015].
- [26] —, *Mod-gps*, May 2015. endereço: <https://www.olimex.com/Products/Modules/GPS/MOD-GPS/images/thumbs/310x230/MOD-GPS-01.jpg>.
- [27] —, May 2015. endereço: <https://www.olimex.com/Products/Modules/UEXT/images/thumbs/310x230/UEXT.jpg>.
- [28] A. Devices, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/adxl335.pdf>, [Online; accessed 12-May-2015], 2009.
- [29] Accelerometer ADXL335, <http://www.robotshop.com/media/catalog/product/cache/7/image/515x515/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/3/-/3-axis-accelerometer-module.jpg>, [Online; accessed 13-March-2015].
- [30] RF link module, http://www.botnroll.com/img/p/8/0/1/801-thickbox_default.jpg, [Online; accessed 20-April-2015].
- [31] Vodafone, <http://www.vodafone.pt/main/particulares/tarifarios/easy/detalhes-easy-91.html>, [Online; accessed 12-June-2015], 2015.
- [32] R. Black, *Cheap rf modules made easy*, <http://www.romanblack.com/RF/cheapRFmodules.htm>, [Online; accessed 18-March-2015].